



ISSN 2074-8566

# **ВЕСНІК**

## **ВІЦЕБСКАГА ДЗЯРЖАЎНАГА ЎНІВЕРСІТЭТА**

**2019 2 (103)**

# **ВЕСНІК**

## **ВІЦЕБСКАГА ДЗЯРЖАЎНАГА ЎНІВЕРСІТЭТА**

**НАВУКОВА-ПРАКТЫЧНЫ ЧАСОПІС**

Выдаецца з верасня 1996 года  
Выходзіць чатыры разы ў год

**2019**  
**№ 2(103)**

## **ЗАСНАВАЛЬНІК:**

установа адукацыі «Віцебскі дзяржаўны  
ўніверсітэт імя П.М. Машэрава»

## **РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ:**

**І.М. Прышчэпа** (*галоўны рэдактар*),  
**А.А. Чыркін** (*нам. галоўнага рэдактара*)

**Т.Г. Алейнікава, Г.П. Арлова, Я.Я. Аршанскі, В.М. Балаева-Ціхамірава,**  
**М.М. Вараб'ёў, М.Ц. Вараб'ёў** (*адказны за раздзел «Матэматыка»*),  
**А.М. Галкін, С.А. Ермачэнка, А.М. Залеская, У.В. Іванойскі, Я.А. Краснабаеў,**  
**В.Я. Кузьменка** (*адказны за раздзел «Біялогія»*), **П.І. Навіцкі,**  
**С.У. Нікалаенка, Н.А. Ракава** (*адказны за раздзел «Педагогіка»*),  
**Г.Г. Сушко, Ю.В. Трубнікаў**

## **РЭДАКЦЫЙНЫ САВЕТ:**

**А.Р. Александровіч** (*Польшча*), **Го Вэньбін** (*Кітай*),  
**В.І. Казарэнкаў** (*Расія*), **Ф.М. Ліман** (*Украіна*),  
**Э. Рангелава** (*Балгарыя*), **В.А. Шчарбакоў** (*Малдова*)

## **САКРАТАРЫЯТ:**

**Г.У. Разбоева** (*адказны сакратар*),  
**В.Л. Пугач, І.У. Волкава, А.М. Фенчанка**

*Часопіс «Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта» ўключаны ў Пералік  
навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў  
дысертацыйных даследаванняў па біялагічных, педагогічных,  
фізіка-матэматычных навук, а таксама цытуецца і рэферыруецца  
ў рэфератыўных выданнях УІНІТІ*

## **Адрас рэдакцыі:**

210038, г. Віцебск, Маскоўскі пр-т, 33,  
пакой 202, т. 58-48-93.  
E-mail: [nauka@vsu.by](mailto:nauka@vsu.by)  
<http://www.vsu.by>

Рэгістрацыйны № 750 ад 27.10.2009.

Падпісана ў друк 10.06.2019. Фармат 60×84 1/8. Папера друкарская.  
Ум. друк. арк. 14,88. Ул.-выд. арк. 9,62. Тыраж 190 экз. Заказ 61.

© Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта, 2019

# ЗМЕСТ

## МАТЭМАТЫКА

<b>Куан Тай Ха.</b> Построение линейных функциональных наблюдателей состояния для линейных положительных динамических систем дробного порядка с запаздыванием и неизвестными входами .....	5
<b>Буткевич В.Г., Дубаневич Д.Т., Яковлев В.П., Ломач М.С.</b> Кинематические зависимости формирования латексных оплетенных нитей .....	22

## БІЯЛОГІЯ

<b>Высоцкий Ю.И.</b> Анализ распространения инвазии борщевика на территории Оршанского района Витебской области .....	28
<b>Колмаков П.Ю., Антонова Е.В.</b> Структурные особенности индивидуальной консорции .....	36
<b>Колос И.К., Макарович А.Ф.</b> Метаболизм тиаминдифосфата в печени курицы .....	45
<b>Кузьменкова А.М.</b> Особенности пространственных характеристик гнездовых колоний чибиса ( <i>Vanellus Vanellus</i> ) на сельскохозяйственных полях Центральной Беларуси .....	53
<b>Лазуко С.С.</b> NO-зависимые механизмы регуляции адренореактивности артериальных сосудов после иммобилизационного стресса .....	59
<b>Саварин А.А.</b> Находка куторы малой ( <i>Neomys anomalus</i> Cabrera, 1907) в Ушачском районе Витебской области .....	66
<b>Хохлова О.И.</b> Таксономический состав и биоразнообразие комплексов жесткокрылых насекомых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ), брусники обыкновенной ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) и голубики топяной ( <i>Vaccinium uliginosum</i> ) в Белорусском Поозерье .....	72
<b>Храмченкова О.М.</b> Влияние биомассы лишайников на прорастание семян корнеплодных культур .....	82

## ПЕДАГОГІКА

<b>Адаменко Н.Д., Корчевская Е.А., Маркова Л.В.</b> Практические вопросы повышения эффективности учебного процесса студентов IT-специальностей .....	87
<b>Турковский В.И., Бумаженко Н.И., Швед М.В.</b> Особенности формирования у старшеклассников с интеллектуальной недостаточностью исторических представлений .....	92
<b>Новицкий П.И., Нахаева Н.М.</b> Здоровый образ жизни и студенческая молодежь: социологический аспект проблемы .....	97
<b>Прокопов О.В.</b> Коллективное обучение технике видов легкой атлетики .....	104
<b>Сафронова Е.П.</b> Биологический возраст и уровень здоровья женщин пожилого возраста, занимающихся геронтологической физической культурой .....	109
<b>Сивашинская Е.Ф.</b> Когнитивный стиль и особые образовательные потребности обучающихся с нарушениями аутистического спектра .....	114
<b>Турковский В.И., Бумаженко Н.И., Швед М.В.</b> Организация психолого-педагогического сопровождения родителей учащихся в условиях инклюзивного образования .....	121



# CONTENTS

## M A T H E M A T I C S

<b>Quan Thai Ha.</b> Design of Linear Functional State Observers for Linear Positive Fractional-Order Time-Delay Systems with Unknown Inputs .....	5
<b>Butkevich V.G., Dubanevich D.T., Yakaulev V.P., Lomach M.S.</b> Kinematic Dependencies of Making Latex Weaved Threads .....	22

## B I O L O G Y

<b>Vysotski Yu.I.</b> Analysis of the Spread of Hogweed Invasion on the Territory of Orsha District of Vitebsk Region .....	28
<b>Kolmakov P.Yu., Antonova E.V.</b> Structural Features of an Individual Consortium .....	36
<b>Kolas I.K., Makarchikov A.F.</b> Metabolism of Thiamine Diphosphate in Chicken Liver .....	45
<b>Kuzmenkova A.M.</b> Features of Space Characteristics of Nest Colonies of Lapwing ( <i>Vanellus Vanellus</i> ) on Agricultural Fields of Central Belarus .....	53
<b>Lazuko S.S.</b> NO-Dependent Mechanisms of Arterial Blood Vessels Adrenoreactivity Regulation Following Immobilization Stress .....	59
<b>Savarin A.A.</b> The Find of the Mediterranean Water Shrew ( <i>Neomys anomalus</i> Cabrera, 1907) in Ushachy District of Vitebsk Region .....	66
<b>Khokhlova O.I.</b> Taxonomic Composition and Biodiversity of Lepidoptera Complexes (Insecta: Coleoptera) in Bilberry ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ), Red Bilberry ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> ) and Blueberry Consortia ( <i>Vaccinium uliginosum</i> ) in Belarusian Poozeriye (Lake Districts) .....	72
<b>Khranchankova V.M.</b> Lichen Biomass Effect on the Seed Germination of Root Vegetables .....	82

## P E D A G O G Y

<b>Adamenko N.D., Korchevskaya E.A., Markova L.V.</b> Practical Issues of Improving the Efficiency of Training IT-Students .....	87
<b>Turkovsky V.I., Bumazhenko N.I., Shved M.V.</b> Intellectually Disabled High School Students' Ideas of History .....	92
<b>Novitski P.I., Nakhaeva N.M.</b> Healthy Lifestyle and Student Youth: Sociological Aspect of the Problem .....	97
<b>Prokopov O.V.</b> Group Training Method in Track and Field .....	104
<b>Safronova E.P.</b> Biological Age and Health of Elderly Women who are Engaged in Gerontological Physical Exercises .....	109
<b>Sivashinskaya E.F.</b> Cognitive Style and Special Education Needs of Pupils with Outist Spectrum Disabilities .....	114
<b>Turkovsky V.I., Bumazhenko N.I., Shved M.V.</b> Organization of Psychological and Pedagogical Support for Pupils' Parents in the Conditions of Inclusive Education .....	121



# МАТЕМАТИКА

УДК 517.977:519.852:681.518

## ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДРОБНОГО ПОРЯДКА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ И НЕИЗВЕСТНЫМИ ВХОДАМИ

Куан Тай Ха

Ханойский университет науки, Вьетнамский национальный университет,  
Ханой (Вьетнам)

*Статья посвящена задаче построения положительных функциональных наблюдателей для линейных положительных динамических систем дробного порядка с запаздыванием, входы которых неизвестны. Предложенные функциональные наблюдатели являются положительными, т.е. они гарантируют положительные оценки в произвольный момент времени. Кроме того, в терминах линейного программирования сформулированы необходимые и достаточные условия существования таких положительных функциональных наблюдателей.*

*Цель работы – построение положительных функциональных наблюдателей для линейных динамических систем дробного порядка с запаздыванием и неизвестными входами.*

**Материал и методы.** Материалом исследования являются функциональные наблюдатели для линейных систем дробного порядка с запаздыванием. Используются методы математического анализа и линейной алгебры, а также численного моделирования.

**Результаты и их обсуждение.** Доказаны две теоремы. В теореме 1 утверждается, что исследуемый функциональный наблюдатель является положительным и линейным при определенных предположениях. В теореме 2 доказывается, что построенный наблюдатель восстанавливает матрицы наблюдения, если соответствующая задача линейного программирования разрешима. Также представлены три численных примера, демонстрирующих эффективность полученных результатов.

**Заключение.** Предложены новые методы построения функциональных наблюдателей состояния для линейных положительных систем дробного порядка с неизвестными входами. Получены условия существования таких наблюдателей, разработан вычислительный подход, базирующийся на задаче линейного программирования для определения матриц наблюдения. Также рассмотрен случай, когда в системе отсутствует запаздывание. Представлены три численных примера для иллюстрации эффективности полученных результатов.

**Ключевые слова:** системы дробного порядка, положительные системы, системы с запаздыванием, функциональные положительные наблюдатели состояния, линейное программирование, неизвестные входы.

# DESIGN OF LINEAR FUNCTIONAL STATE OBSERVERS FOR LINEAR POSITIVE FRACTIONAL-ORDER TIME-DELAY SYSTEMS WITH UNKNOWN INPUTS

Quan Thai Ha

Hanoi University of Science, Vietnam National University, Hanoi (Vietnam)

*This paper addresses the problem of designing positive functional observers for linear fractional-order time-delay positive systems with unknown inputs. The proposed functional observers are positive, that is, they ensure that the estimates are nonnegative at any time. Moreover, necessary and sufficient conditions for the existence of such positive functional observers are formulated in terms of linear programming.*

*The purpose of the article is to design positive functional observers for linear fractional-order time-delay systems with unknown inputs.*

**Material and methods.** Functional observers for linear fractional-order time-delay system were research materials. Methods of mathematical analysis, linear algebra and numerical simulation were used in the research.

**Findings and their discussion.** Two theorems are proved. Theorem 1 asserts that the observer we consider is a positive linear functional one under some conditions. Theorem 2 states that the observer gains observer matrices if corresponding LP problem is feasible. Three numerical examples are provided to demonstrate the effectiveness of obtained results.

**Conclusion.** New results for designing positive functional state observers for linear positive time-delay systems with unknown inputs are proposed. Conditions for the existence of positive functional observers are derived and computational approach based on LP is given for the determination of the observer matrices. The case where there is no time delay in the system is also discussed. Three numerical examples are given to illustrate the effectiveness of the proposed design method.

**Key words:** Fractional-order systems, positive systems, time-delay systems, functional positive observers, linear programming, unknown inputs.

## 1 Introduction

Positive systems have numerous applications in science and engineering. They are used as models for a variety of phenomena in the life sciences, physics and technology, chemistry, economics, populations dynamics and ecology. A dynamical system is called positive if for any nonnegative initial condition, the corresponding solution of the system is also nonnegative. Positive dynamical systems play an important role in the modelling of dynamical phenomena whose variables are restricted to be nonnegative (see, for example, <sup>[1–7]</sup>).

In the past few decades, many authors pointed out that several areas of physics, control engineering and signal processing may be precisely described with the help of fractional calculus. A large number of monographs and papers have been devoted to fractional dynamical systems (see, for example, <sup>[8–38]</sup>).

Positive linear systems with different fractional orders have been addressed in the literature. In particular, Nigmatullin and Nelson described in terms of fractional kinetics in complex systems [14]; Jesus, Machado and Cunha analyzed the fractional-order dynamics in botanical electrical impedances [15]; Petrovic, Spasic and Atanackovic developed a fractional-order mathematical model of a human root dentin [16]. Fractional ordinary differential equations are naturally related to systems with memory which exists in most biological systems. Also,

---

\* Corresponding author email: haqt0307@vnu.edu.vn

they are closely related to fractals, which are abundant in biological systems [21]. It has been deduced that the membranes of cells of biological organism have fractional-order electrical conductance and then are classified in groups of non-integer order models. Fractional derivatives embody essential features of cell rheological behavior and have enjoyed greatest success in the field of rheology. Also, it has been shown that modelling the behavior of brainstem vestibule-oculomotor neurons by fractional ordinary differential equations has more advantages than classical integer-order modelling [23].

In many practical systems, all the state variables are not available for measurements, although some components of the state vector have to be known for control strategies. So, one can find a functional state observer, that estimates a linear combination of the states of a system using the input and output measurements. The problem of design of state observers on integer-order systems have been reported in [39–45]. For fractional-order systems, some interesting results on the problem were reported in [46–49]. However, research into state observer design of fractional linear systems with time-delay has, so far, received lesser attention. Recently, in [50], by using the fractional-order Lyapunov approach, the authors proposed the functional observers design for linear fractional-order time-delay systems. To the best of our knowledge, there is no work in which the problem of designing fractional order observer for time-delay positive fractional-order systems in which unknown inputs are investigated.

In this paper, we consider the problem of designing positive linear functional observers for time-delay positive fractional-order systems with unknown inputs. Our proposed observers are positive, that is, they ensure that the estimates are nonnegative at any time. We derive new conditions for the existence of such positive linear functional observers. We propose a computational approach based on linear programming (LP) for the determination of the observer's parameters.

The main contribution of this paper is that, for the first time, the problem of designing positive linear functional observers for time-delay positive systems with unknown inputs and fractional-order  $\alpha \in (0, 1]$  has been considered. As a particular case when order  $\alpha = 1$ , our result can be considered as an extension result of [43–45].

This paper is organized as follows. In section 2, we provide the preliminaries. The main results are given in Section 3. In section 4, we provide three numerical examples to demonstrate the effectiveness of our obtained results. Finally, a conclusion is drawn in Section 5.

**Notations:**  $I_n$  denotes the  $n \times n$  identity matrix,  $0_{m,n}$  denotes the  $m \times n$  zero matrix.  $\mathbb{R}_+^n$  denotes the nonnegative orthant of the  $n$ -dimensional real space  $\mathbb{R}^n$ . For a vector  $x = (x_i) \in \mathbb{R}^n$ , we denote  $|x| = (|x_i|) \in \mathbb{R}_+^n$ . For a real matrix  $M$ ,  $M^T$  denotes the transpose,  $M \geq 0$  is called a nonnegative matrix if all of its components are nonnegative (i.e.  $m_{ij} \geq 0$  for all  $i, j$ ).

The Caputo derivative of function  $f(t)$  with order  $\alpha \in (0, 1]$  is defined by

$${}_0^C D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t (t-\tau)^{-\alpha} \dot{f}(\tau) d\tau,$$

where  $\dot{f}$  is the first order derivative of function  $f$  and the function  $\Gamma(\cdot)$  is defined as

$$\Gamma(z) = \int_0^\infty e^{-t} t^{z-1} dt, \quad z \in \mathbb{R}.$$

## 2 Preliminaries

This section presents some definitions and preliminary results which will be used throughout the paper.

Consider the following linear fractional-order time-delay system

$$\begin{aligned} {}^C_0 D_t^\alpha x(t) &= Ax(t) + \sum_{i=1}^q A_i x(t - \tau_i) \\ &\quad + Bu(t) + Ff(t), \quad t \geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

$$x(\theta) = \phi(\theta), \quad \forall \theta \in [-\tau, 0], \quad \tau = \max_{1 \leq i \leq q} \tau_i, \quad (2)$$

$$y(t) = Cx(t), \quad (3)$$

where  $x(t) \in \mathbb{R}^n$  is the state vector,  $u(t) \in \mathbb{R}^m$  is the control input vector,  $y(t) \in \mathbb{R}^p$  is the output vector,  $f(t) \in \mathbb{R}^{n_f}$  is the disturbance vector. By  ${}^C_0 D_t^\alpha x(t)$  we mean that  ${}^C_0 D_t^\alpha x(t) = [{}^C_0 D_t^\alpha x_1(t) \ {}^C_0 D_t^\alpha x_2(t) \ \dots \ {}^C_0 D_t^\alpha x_n(t)]^T$ ,  $\alpha \in (0, 1]$ .  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $A_i \in \mathbb{R}^{n \times n}$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ),  $B \in \mathbb{R}^{n \times m}$ ,  $F \in \mathbb{R}^{n \times n_f}$  and  $C \in \mathbb{R}^{p \times n}$  are constant matrices, the time delay  $\tau_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) is assumed to be known positive constants, and  $\phi(\theta) \in \mathbb{R}^n$  is the initial function.

Let us state the following definition of positive system (1)-(2).

**Definition 1.** *The linear time-delay system (1)-(2) is said to be positive if for any nonnegative initial condition  $\phi(\theta) \in \mathbb{R}_+^n$ ,  $\forall \theta \in [-\tau, 0]$  and any input  $u(t) \in \mathbb{R}_+^m$ ,  $\forall t \geq 0$ , the corresponding trajectory  $x(t) \in \mathbb{R}_+^n$  for all  $t \geq 0$ .*

The following definition will be used in this paper.

**Definition 2 ([1]).** *A square real matrix  $M$  is called a Metzler matrix if its off-diagonal elements are nonnegative, i.e.  $m_{ij} \geq 0$ ,  $i \neq j$ .*

In the subsequent, we let  $\phi(\theta) \in \mathbb{R}_+^n$ ,  $\forall \theta \in [-\tau, 0]$ ,  $u(t) \in \mathbb{R}_+^m$ ,  $\forall t \geq 0$  and  $f(t) \in \mathbb{R}_+^{n_f}$ ,  $\forall t \geq 0$ . Then from [32], we obtain the following condition which ensures the positivity of system (1)-(2).

**Lemma 1.** *System (1)-(2) is positive if and only if  $A$  is a Metzler matrix,  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ),  $B$  and  $F$  are nonnegative matrices.*

Let us now assume that the system defined in (1)-(2) is positive. Let  $z(t) = Lx(t) \in \mathbb{R}_+^r$ ,  $1 \leq r \leq n$ , be defined as a positive linear function of the state vector, where  $L \geq 0$  is any given  $r \times n$  matrix. Our objective in this paper is to design a positive linear functional observer  $\hat{z}(t) \in \mathbb{R}_+^r$  such that the error



$e(t) = z(t) - \hat{z}(t)$  converges asymptotically to zero as  $t \rightarrow \infty$ . To achieve the objective, we consider the following  $r$ th-order positive linear functional observer

$$\hat{z}(t) = \omega(t) + Ey(t), \quad (4)$$

$$\begin{aligned} {}^C_0 D_t^\alpha \omega(t) &= N\omega(t) + \sum_{i=1}^q N_i \omega(t - \tau_i) + Jy(t) \\ &\quad + \sum_{i=1}^q J_i y(t - \tau_i) + Hu(t), \quad t \geq 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\omega(\theta) = \rho(\theta) \in \mathbb{R}_+^r, \quad \forall \theta \in [-\tau, 0], \quad (6)$$

where  $E \in \mathbb{R}^{r \times p}$ ,  $N \in \mathbb{R}^{r \times r}$ ,  $J \in \mathbb{R}^{r \times p}$ ,  $N_i \in \mathbb{R}^{r \times r}$  and  $J_i \in \mathbb{R}^{r \times p}$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) are matrices to be determined.

**Definition 3.** The observer defined in (4)-(6) is called a positive linear functional observer of system (1)-(3) if for any initial condition,  $\rho(\theta) \in \mathbb{R}_+^r$ ,  $\forall \theta \in [-\tau, 0]$ , all inputs  $u(t) \in \mathbb{R}_+^m$ ,  $\forall t \geq 0$  and all disturbances  $f(t) \in \mathbb{R}_+^{n_f}$ ,  $\forall t \geq 0$ , then  $\hat{z}(t) \in \mathbb{R}_+^r$  for all  $t \geq 0$  and  $\hat{z}(t)$  converges asymptotically to  $z(t)$  as  $t \rightarrow \infty$ .

### 3 Main results

The following theorem provides conditions which ensure that (4)-(5) is a positive linear functional observer of system (1)-(3).

**Theorem 1.** The observer defined in (4)-(5) is a positive linear functional observer of system (1)-(3) if the following conditions are satisfied for  $i = 1, 2, \dots, q$

$$N \text{ is Metzler, } N_i \geq 0, \quad (7)$$

$$JC \geq 0, \quad J_i C \geq 0, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} {}^C_0 D_t^\alpha e(t) &= Ne(t) + \sum_{i=1}^q N_i e(t - \tau_i) \\ &\text{is asymptotically stable,} \end{aligned} \quad (9)$$

$$NL + JC + ECA - LA - NEC = 0, \quad (10)$$

$$N_i L + J_i C + ECA_i - LA_i - N_i EC = 0, \quad (11)$$

$$EC \geq 0, \quad ECB \leq LB, \quad (12)$$

$$ECF - LF = 0, \quad (13)$$

$$H - LB + ECB = 0. \quad (14)$$

*Proof.* We first prove that  $\hat{z}(t) \in \mathbb{R}_+^r$  for all  $t \geq 0$  if conditions (7)-(8) and (12) are satisfied. For this, let us consider the following augmented system

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} {}^C_0 D_t^\alpha x(t) \\ {}^C_0 D_t^\alpha \omega(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A & 0 \\ JC & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \\ &+ \sum_{i=1}^q \begin{bmatrix} A_i & 0 \\ J_i C & N_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t - \tau_i) \\ \omega(t - \tau_i) \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} B \\ H \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix} f(t), \quad t \geq 0, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} x(\theta) \\ \omega(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi(\theta) \\ \rho(\theta) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}_+^{n+r}, \quad \forall \theta \in [-\tau, 0]. \quad (16)$$

By Lemma 1,  $\hat{z}(t) \in \mathbb{R}_+^r$  for all  $t \geq 0$  if  $EC \geq 0$ ,  $ECB \leq LB$ ,  $\begin{bmatrix} A & 0 \\ JC & N \end{bmatrix}$  is Metzler and  $\begin{bmatrix} A_i & 0 \\ J_i C & N_i \end{bmatrix} \geq 0$ , which is equivalent to conditions (7)-(8) and (12), since (1)-(2) is a positive system.

Next, we prove that (9)-(11), (13)-(14) are sufficient conditions that ensure  $\hat{z}(t)$  converges asymptotically to  $z(t)$  as  $t \rightarrow \infty$ . In regard to (1) and (4)-(5), the dynamic of the fractional-order error is given by

$$\begin{aligned} {}^C_0 D_t^\alpha e(t) &= {}^C_0 D_t^\alpha z(t) - {}^C_0 D_t^\alpha \hat{z}(t) \\ &= Ne(t) + \sum_{i=1}^q N_i e(t - \tau_i) \\ &\quad + (LA + NEC - NL - ECA - JC)x(t) \\ &\quad + \sum_{i=1}^q (LA_i + N_i EC - N_i L \\ &\quad - ECA_i - J_i C)x(t - \tau_i) \\ &\quad + (LB - ECB - H)u(t) \\ &\quad + (LF - ECF)f(t), \quad t \geq 0, \end{aligned} \quad (17)$$

$$e(\theta) = L\phi(\theta) - \rho(\theta), \quad \theta \in [-\tau, 0]. \quad (18)$$

It is clear from (17) that  $e(t) \rightarrow 0$  as  $t \rightarrow \infty$  if conditions (9)-(11), (13) and (14) of Theorem 1 are satisfied. Hence,  $\hat{z}(t)$  converges asymptotically to  $z(t)$  as  $t \rightarrow \infty$ . This completes the proof of Theorem 1.  $\blacksquare$

*Remark 1.* From Theorem 1, the design of a positive linear functional observer now rest with determining unknown observer parameters  $E$ ,  $N$ ,  $J$ ,  $N_i$  and  $J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) such that conditions (7)-(14) of Theorem 1 are satisfied. For this, we first solve the unknown matrix  $E$  such that the conditions (12)-(13) hold. And then, we will solve the remaining unknown matrices  $N$ ,  $J$ ,  $N_i$  and  $J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) such that the conditions (7)-(11) are satisfied.

It follows from (13) that a solution for  $E$  always exists if and only if  $\text{rank} \begin{bmatrix} CF \\ LF \end{bmatrix} = \text{rank}[CF]$ . Under this condition, a general solution for  $E$  is given by

$$E = (LF)(CF)^+ + S[I_p - (CF)(CF)^+], \quad (19)$$

where  $S \in \mathbb{R}^{n \times p}$  is arbitrary matrix. By using (19), condition (12) can be expressed as

$$(LF)(CF)^+C + S[I_p - (CF)(CF)^+]C \geq 0, \quad (20)$$

$$(LF)(CF)^+CB + S[I_p - (CF)(CF)^+]CB \leq LB. \quad (21)$$

From (20) and (21) we see that there exists matrix  $E$  such that conditions (12) and (13) of Theorem 1 can be satisfied if and only if the following LP problem in the variable  $S \in \mathbb{R}^{n \times p}$  is feasible:

$$-\Psi_0^T C^T S^T \leq \Phi_0^T C^T, \quad (22)$$

$$B^T C^T \Psi_0^T S^T \leq B^T L^T - B^T C^T \Phi_0^T, \quad (23)$$

where  $\Phi_0 = (LF)(CF)^+$  and  $\Psi_0 = I_p - (CF)(CF)^+$ .

Next, we will determine the remaining unknown matrices  $N$ ,  $J$ ,  $N_i$  and  $J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) such that the conditions (7)-(11) of Theorem 1 are satisfied.

By extending Theorem 2 in [32], we obtain the following condition which is equivalent to (6) and (8).

**Lemma 2.** *Let  $N$  be a Metzler matrix and  $N_i \geq 0$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ), then system*

$$\begin{cases} {}^C_0 D_t^\alpha e(t) = Ne(t) + \sum_{i=1}^q N_i e(t - \tau_i) \\ e(\theta) = \varphi(\theta), \theta \in [-\tau, 0] \end{cases} \quad (24)$$

*is asymptotically stable if and only if  $N + \sum_{i=1}^q N_i$  is Hurwitz.*

*Remark 2.* By Lemma 2, it follows that the positive system (24) is asymptotically stable if and only if there exists a vector  $\lambda > 0$  such that

$$(N + \sum_{i=1}^q N_i)^T \lambda < 0. \quad (25)$$

Provided that matrix  $E$  is solved from LP problem (22)-(23), we will solve equations (7)-(11). For this, we represent these equations into the following form

$$\chi X = Y, \quad (26)$$

where

$$\chi = [N \ J \ N_1 \ J_1 \ \dots \ N_q \ J_q], \quad (27)$$

$$X = \text{block-diag} \left( \begin{bmatrix} K \\ C \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} K \\ C \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} K \\ C \end{bmatrix} \right),$$

$$X \in \mathbb{R}^{(q+1)(p+r) \times (q+1)n}, \quad (28)$$

$$Y = [M \ M_1 \ M_2 \ \dots \ M_q] \in \mathbb{R}^{r \times (q+1)n}. \quad (29)$$

In (28)-(29),  $K = L - EC$ ,  $M = LA - ECA$ ,  $M_i = LA_i - ECA_i$  for  $i = 1, 2, \dots, q$ .

Since  $X$  and  $Y$  are two known constant matrices, a solution for  $\chi$  always exists if and only if

$$\text{rank} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \text{rank}(X). \quad (30)$$

Under condition (30), a general solution for  $\chi$  is given by

$$\chi = YX^+ + Z(I_{(q+1)(p+r)} - XX^+), \quad (31)$$

where  $X^+ \in \mathbb{R}^{(q+1)n \times (q+1)(p+r)}$  is the Moor-Penrose inverse of  $X$  and  $Z \in \mathbb{R}^{r \times (q+1)(p+r)}$  is an arbitrary matrix to be determined. Moreover, matrices  $N$ ,  $J$ ,  $N_i$ ,  $J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) can now be extracted from (31) and are expressed as

$$N = \Phi e_N + Z\Psi e_N, \quad (32)$$

$$J = \Phi e_J + Z\Psi e_J, \quad (33)$$

$$N_i = \Phi e_{N_i} + Z\Psi e_{N_i}, \quad (34)$$

$$J_i = \Phi e_{J_i} + Z\Psi e_{J_i}, \quad (35)$$

where

$$\Phi = YX^+, \Psi = I_{(q+1)(p+r)} - XX^+ \quad (36)$$

and  $e_N, e_{N_i} \in \mathbb{R}^{(q+1)(p+r) \times r}$ ,  $e_J, e_{J_i} \in \mathbb{R}^{(q+1)(p+r) \times p}$  are the following

$$e_N = \begin{bmatrix} I_r \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, e_{N_i} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \underbrace{I_r}_{i+2\text{-th}} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$e_J = \begin{bmatrix} 0 \\ I_p \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, e_{J_i} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \underbrace{I_p}_{i+3\text{-th}} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, i = 1, \dots, q. \quad (37)$$

Now, in order to implement a positive functional observer (4)-(6), we will gather conditions (7)-(11) to formulate an LP-based problem for checking the design parameters. By using (32)-(35), conditions (25) can be represented as

$$(e_N^T + \sum_{i=1}^q e_{N_i}^T) \Phi^T \lambda + (e_N^T + \sum_{i=1}^q e_{N_i}^T) \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r < 0. \quad (38)$$

On the other hand, conditions  $JC \geq 0$  and  $J_i C \geq 0$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) are equivalent to the following, respectively,

$$C^T e_J^T \Phi^T \lambda + C^T e_J^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r \geq 0 \quad (39)$$

and

$$C^T e_{J_i}^T \Phi^T \lambda + C^T e_{J_i}^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r \geq 0, \quad i = 1, \dots, q. \quad (40)$$

Based the above discussion we obtain the following theorem which provides a computational approach which is based on LP for the determination of the parameters  $N, J, N_i, J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) of positive linear functional observers.

**Theorem 2.** *If the following LP problem in the variables  $\lambda \in \mathbb{R}^r$  and  $\Gamma \in \mathbb{R}^{(q+1)(p+r) \times r}$  is feasible:*

$$\begin{cases} \lambda > 0, \\ (e_N^T + \sum_{i=1}^q e_{N_i}^T) \Phi^T \lambda + (e_N^T + \sum_{i=1}^q e_{N_i}^T) \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r < 0, \\ C^T e_J^T \Phi^T \lambda + C^T e_J^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r \geq 0, \\ C^T e_{J_i}^T \Phi^T \lambda + C^T e_{J_i}^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r \geq 0, \quad i = 1, \dots, q, \end{cases} \quad (41)$$

then the observer gains  $N, J, N_i, J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) are obtained as in (32)-(35) where  $Z = (\text{diag}(\lambda))^{-1} \Gamma^T$ .

*Remark 3. Positive functional observers without internal delay.* Here, we can easily derive a computational approach based on LP to derive the following positive functional observer for system (1)-(2)

$$\hat{z}(t) = \omega(t) + Ey(t), \quad (42)$$

$$\begin{aligned} {}_0^C D_t^\alpha \omega(t) &= N\omega(t) + Jy(t) + \sum_{i=1}^q J_i y(t - \tau_i) \\ &\quad + Hu(t), \quad t \geq 0, \end{aligned} \quad (43)$$

$$\omega(\theta) = \rho(\theta) \in \mathbb{R}_+^r, \quad \forall \theta \in [-\tau, 0], \quad (44)$$

where  $N \in \mathbb{R}^{r \times r}$ ,  $J \in \mathbb{R}^{r \times p}$  and  $J_i \in \mathbb{R}^{r \times p}$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ). The following proposition provides a computational approach for determining the matrices  $N, J$  and  $J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ).

**Proposition 1.** *If the following LP problem in the variables  $\lambda \in \mathbb{R}^r$  and  $\Gamma \in \mathbb{R}^{(p(q+1)+r) \times r}$  is feasible:*

$$\begin{cases} \lambda > 0, \\ e_N^T \Phi^T \lambda + e_N^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r < 0, \\ C^T e_J^T \Phi^T \lambda + C^T e_J^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r \geq 0, \\ C^T e_{J_i}^T \Phi^T \lambda + C^T e_{J_i}^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r \geq 0, \quad i = 1, \dots, q, \end{cases} \quad (45)$$

then the observer gains  $N, J, J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ) are obtained as below:

$$N = \Phi e_N + Z \Psi e_N, \quad (46)$$

$$J = \Phi e_J + Z \Psi e_J, \quad (47)$$

$$J_i = \Phi e_{J_i} + Z \Psi e_{J_i}, \quad (48)$$



where

$$\Phi = YX^+, \Psi = I_{(p(q+1)+r)} - XX^+, \quad (49)$$

$Z = (\text{diag}(\lambda))^{-1}\Gamma^T$ ,  $Y$  is defined as in (25) and  $X \in \mathbb{R}^{(p(q+1)+r) \times (q+1)n}$ ,  $e_N \in \mathbb{R}^{(p(q+1)+r) \times r}$ ,  $e_J, e_{J_i} \in \mathbb{R}^{(p(q+1)+r) \times p}$  are the following

$$e_N = \begin{bmatrix} I_r \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad e_J = \begin{bmatrix} 0 \\ I_p \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$e_{J_i} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \overbrace{I_p}^{i+2-th} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, q. \quad (50)$$

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}, \quad X_1 = [K \ 0],$$

$$X_2 = \text{block-diag}(C, C, \dots, C). \quad (51)$$

*Remark 4.* For the case where  $A_i = 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, q$  i.e. system (1)-(3) has no time delay, the following result is an extension of the work [43] to the design of reduced-order positive functional observers. Note that in [43], only full-order Luenberger positive observers for linear positive systems with no inputs were considered. Now, we have the following reduced-order positive functional observer

$$\hat{z}(t) = \omega(t) + Ey(t), \quad (52)$$

$${}_0^C D_t^\alpha \omega(t) = N\omega(t) + Jy(t) + Hu(t), \quad t \geq 0, \quad (53)$$

$$\omega(0) = \omega_0, \quad (54)$$

where  $\hat{z}(t)$  is the estimate of  $z(t) = Fx(t)$ ,  $\hat{z}_0 \in \mathbb{R}_+^r$  is the initial condition and  $F \geq 0$ . We can obtain sufficient conditions to ensure that  $\hat{z}(t) \in \mathbb{R}_+^r$  and  $\hat{z}(t)$  converges asymptotically to  $z(t)$  as  $t \rightarrow \infty$  for any  $\hat{z}_0 \in \mathbb{R}_+^r$  and  $u(t) \in \mathbb{R}_+^m$ . The conditions are as given below

$$\begin{cases} N \text{ is Metzler and Hurwitz,} \\ JC \geq 0, \\ NF + JC - FA = 0, \\ EC \geq 0, ECB \leq LB, \\ ECF - LF = 0, \\ H - LB + ECB = 0. \end{cases} \quad (55)$$

Hence,  $N$  and  $J$  can be determined if the following LP problem in the variables  $\lambda \in \mathbb{R}^r$  and  $\Gamma \in \mathbb{R}^{(p+r) \times r}$  is feasible

$$\begin{cases} \lambda > 0, \\ e_N^T \Phi^T \lambda + e_N^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r < 0, \\ C^T e_J^T \Phi^T \lambda + C^T e_J^T \Psi^T \Gamma \mathbf{1}_r \geq 0, \end{cases} \quad (56)$$

then the observer gains  $N$ ,  $J$  are obtained as below:

$$N = \Phi e_N + Z \Psi e_N, \quad (57)$$

$$J = \Phi e_J + Z \Psi e_J, \quad (58)$$

where

$$\Phi = YX^+, \quad \Psi = I_{p+r} - XX^+, \quad (59)$$

$$Z = (\text{diag}(\lambda))^{-1} \Gamma^T \text{ and } X = \begin{bmatrix} K \\ C \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(p+r) \times n}, \quad Y = M, \quad e_N = \begin{bmatrix} I_r \\ 0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(r+p) \times r},$$

$$e_J = \begin{bmatrix} 0 \\ I_p \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(r+p) \times p}.$$

#### Algorithm 1

Step 1: Check if  $\text{rank} \begin{bmatrix} CF \\ LF \end{bmatrix} = \text{rank}[CF]$ . If so, solve the LP (41) to obtain matrix  $E$ .

Step 2: Obtain matrices  $X$  and  $Y$  from (28)-(29). Check the existence condition (30).

Step 3: Compute the matrices  $\Phi$  and  $\Psi$  from (36).

Step 4: Solve the LP (41) with respect to  $\Gamma$  and  $\lambda$ .

Step 5: Compute the matrix  $Z = (\text{diag}(\lambda))^{-1} \Gamma^T$  where  $(\lambda, \Gamma)$  is a solution obtained in Step 4.

Step 6: By substituting  $Z$  into (32)-(35) to obtain observer gains  $N$ ,  $N_i$ ,  $J$ ,  $J_i$  ( $i = 1, 2, \dots, q$ ).

## 4 Numerical examples

*Example 1.* Let us first consider an example, where a positive 3th-order system with one output and matrices  $A$ ,  $A_1$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $F$  and  $L$  are as given below

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \\ A_1 &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.2 \\ 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.1 & 0.05 \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \\ C &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^\top, \quad L = \begin{bmatrix} 0.25 \\ 1 \\ 0.5 \end{bmatrix}^\top. \end{aligned}$$

Clearly, this system is a positive system since  $A$  is a Metzler and Hurwitz and  $A_1 \geq 0$ ,  $B \geq 0$ ,  $C \geq 0$ ,  $F \geq 0$ ,  $L \geq 0$ .

According to Step 1 of the Algorithm 1, we obtain  $E = 0.25$ .

According to steps (Step 2-Step 6) of the Algorithm 1, we obtain  $N = -5$ ,  $N_1 = 0.05$ ,  $J = [1 \ 2.5]$ ,  $J_1 = [0.2 \ 0]$ . With  $N$ ,  $N_1$ ,  $J$  and  $J_1$  as given, it is easy to check that all the conditions of the Theorem 1 are satisfied. This completes the design of a first-order positive observer to estimate  $z(t) = 0.25x_1(t) + x_2(t) + 0.5x_3(t)$ .

### Simulation results

To show the simulation results, we consider the input  $u(t) = 0.001e^t$ ,  $0 \leq t \leq 10$ ,  $\tau = 1s$  and the initial conditions are  $x_1(\theta) = 1$ ,  $x_2(\theta) = 2$ ,  $x_3(\theta) = 3$ ,  $w(\theta) = 0$  for  $\theta \in [-\tau, 0]$ . Fig. 1 shows the performance of the functional observer presented in this paper for  $\alpha = 0.75$  the unknown input  $f(t) = 1 + \sin t$ ,  $0 \leq t \leq 10$ .

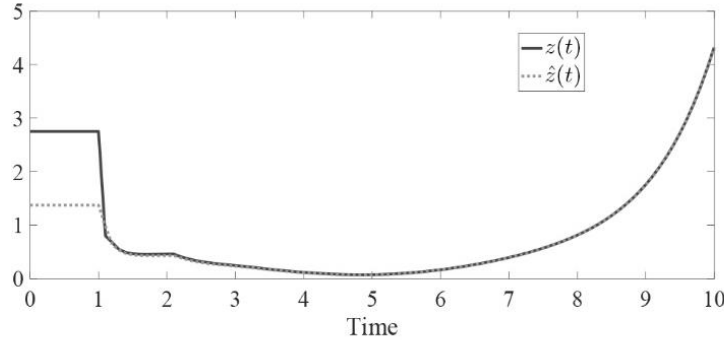


Fig. 1: State response  $z(t)$  and its estimate  $\hat{z}(t)$  in Example 1 with fractional order  $\alpha = 0.75$

*Example 2.* Let us next consider an example, where a positive 4th-order system with two outputs and matrices  $A$ ,  $A_1$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $F$  and  $L$  are as given below

$$A = \begin{bmatrix} -8 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -4 & 0 & 1 \\ 8 & 0 & -3 & 2 \\ 6 & 0 & 1 & -9 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.3162 & 0 & 0 & 0 \\ 1.8974 & 0.6325 & 0.9487 & 1.2649 \\ 0.6325 & 0 & 0.3162 & 0 \\ 0.9487 & 0 & 1.5811 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0], L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Clearly, this system is a positive system since  $A$  is a Metzler and Hurwitz and  $A_1 \geq 0$ ,  $B \geq 0$ ,  $C \geq 0$ ,  $F \geq 0$ ,  $L \geq 0$ .

According to Step 1 of the Algorithm, we obtain  $E = [4 \ 3]^\top$ .

According to steps (Step 2-Step 6) of the Algorithm 1, we obtain  $N = \begin{bmatrix} -3 & 2 \\ 1 & -9 \end{bmatrix}$ ,  $N_1 = \begin{bmatrix} 0.3162 & 0 \\ 1.5811 & 0 \end{bmatrix}$ ,  $J = \begin{bmatrix} 25 \\ 8 \end{bmatrix}$ ,  $J_1 = \begin{bmatrix} 0.6325 \\ 5.3759 \end{bmatrix}$ . With  $N$ ,  $N_1$ ,  $J$  and  $J_1$  as given, it is easy to check that all the conditions of the Theorem 1 are satisfied. This completes the design of a second-order positive observer to estimate  $z_1(t) = x_1(t) + x_3(t)$  and  $z_2(t) = 2x_1(t) + x_4(t)$ .

### Simulation results

To show the simulation results, we consider the input  $u(t) = 0.001e^{0.01t}$ ,  $0 \leq t \leq 20$ ,  $\tau = 1s$  and the initial conditions are  $x_1(\theta) = 1$ ,  $x_2(\theta) = 2$ ,  $x_3(\theta) = 3$ ,  $x_4(\theta) = 4$ ,  $w_1(\theta) = 0$ ,  $w_2(\theta) = 0$  for  $\theta \in [-\tau, 0]$ . Fig. 2 and Fig.3 show the performance of the functional observer presented in this paper for  $\alpha = 0.81$  the unknown input  $f(t) = 1 + \sin t$ ,  $0 \leq t \leq 20$ .

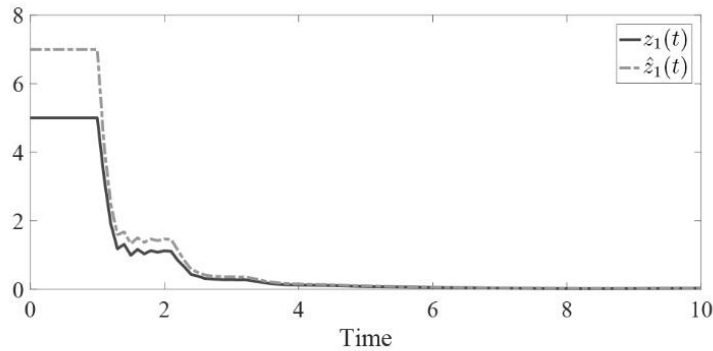


Fig. 2: State response  $z_1(t)$  and its estimate  $\hat{z}_1(t)$  in Example 2 with fractional order  $\alpha = 0.81$

*Example 3.* Let us first consider an example, where a positive 3th-order system without delay and matrices  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $F$  and  $L$  are as given below

$$A = \begin{bmatrix} -0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & -0.9 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad L = [0.5 \ 1 \ 1].$$

Clearly, this system is a positive system since  $A$  is a Metzler and Hurwitz and  $B \geq 0$ ,  $C \geq 0$ ,  $F \geq 0$ ,  $L \geq 0$ .

According to Step 1 of the Algorithm 1, we obtain  $E = 0.5$ .

According to steps (Step 2-Step 6) of the Algorithm 1, we obtain :  $N = -0.9$ ,  $J = [0.1 \ 1]$ . With  $N$  and  $J$  as given, it is easy to check that all the conditions

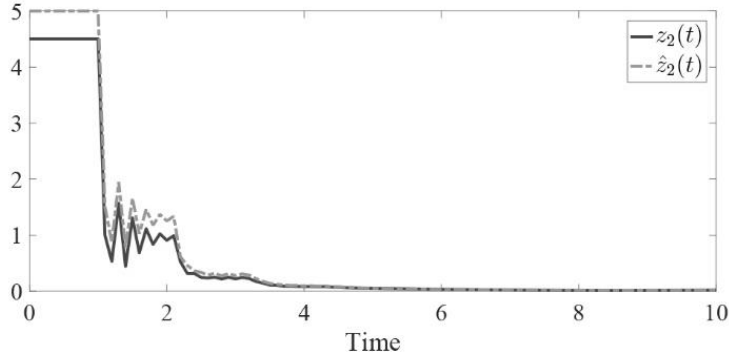


Fig. 3: State response  $z_2(t)$  and its estimate  $\hat{z}_2(t)$  in Example 2 with fractional order  $\alpha = 0.81$

of the Theorem 1 are satisfied. This completes the design of a fractional-order positive observer to estimate  $z(t) = 0.5x_1(t) + x_2(t) + x_3(t)$ .

### Simulation results

To show the simulation results, we consider the input  $u(t) = 0.001e^t$ ,  $0 \leq t \leq 7$  and the initial conditions are  $x_1(0) = 1$ ,  $x_2(0) = 2$ ,  $x_3(0) = 3$ ,  $w(0) = 0$ . Fig. 3 shows the performance of the functional observer presented in this paper for  $\alpha = 0.5$  the unknown input  $f(t) = 1 + \sin t$ ,  $0 \leq t \leq 7$ .

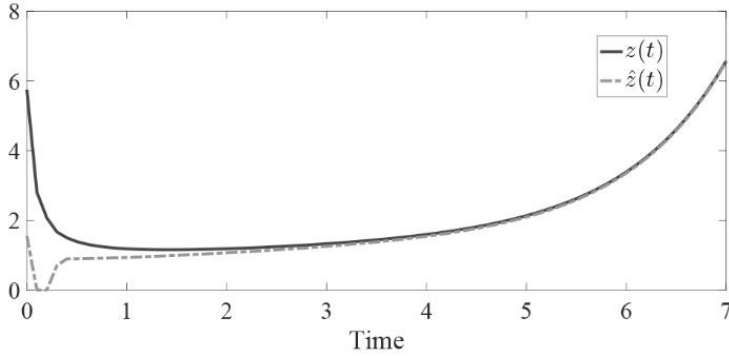


Fig. 4: State response  $z(t)$  and its estimate  $\hat{z}(t)$  in Example 3 with fractional order  $\alpha = 0.5$

## 5 Conclusion

In this paper, we have proposed new results for designing positive functional state observers for linear positive time-delay systems with unknown inputs. Conditions for the existence of positive functional observers have been derived and



a computational approach based on LP has been given for the determination of the observer matrices. The case where there is no time delay in the system has also been discussed in this paper. Three numerical examples have been given to illustrate the effectiveness of the proposed design method.

## References

1. D. G Luenberger. *Introduction to Dynamic Systems: Theory, Models and Applications*, New York, America: John Wiley & Sons, 1979.
2. W. M. Haddad, V. Chellaboina, T. Rajpurohit. Dissipativity theory for nonnegative and compartmental dynamical systems with time delay. *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 49, pp. 747–751, 2004.
3. W. M. Haddad, V. Chellaboina. Stability theory for nonnegative and compartmental dynamical systems with time delay. *Syst. Contr. Lett.*, vol. 51, no. 5, pp. 355–361, 2004.
4. P. H. A. Ngoc. Stability of positive differential systems with delay. *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 58, no. 1, pp. 203–209, 2013.
5. I. Zaidi, M. Chaabane, F. Tadeo, A. Benzaouia. Static state-feedback controller and observer design for interval positive systems with time delay. *IEEE Trans. Circuits Syst. II: Express Briefs* vol. 62, no. 5, pp. 506–510, 2015.
6. L. Farina, S. Rinaldi. *Positive Linear Systems: Theory and Applications*, New York, America: John Wiley & Sons, 2000.
7. W. M. Haddad, V. Chellaboina, Q. Hui, *Nonnegative and Compartmental Dynamical Systems*, Princeton, NJ: Princeton Univ.Press, 2010.
8. I. Podlubny. *Fractional Differential Equations*. New York, America: Academic Press, 1999.
9. K. Miller, B. Ross. *An Introduction to The Fractional Calculus and Fractional Differential Equation*, New York, America: John Wiley & Sons, Inc. 1993.
10. A. Kilbas, H. Srivastava, J. Trujillo, *Theory and Application of Fractional Differential Equations*, New York, America: Elsevier, 2006.
11. Y. Zhou, F. Jiao. Nonlocal Cauchy problem for fractional evolution equations. *Nonlinear Anal. RWA*. vol. 11, pp. 4465–4475, 2010.
12. J. Q. Deng, Z. M. Deng. Existence of solutions of initial value problems for nonlinear fractional differential equations. *Appl. Math. Lett.* vol. 32, pp. 6–12, 2014.
13. T. Kaczorek, *Selected Problems of Fractional Systems Theory*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2011.
14. R. R. Nigmatullina, S. O. Nelson. Recognition of the “fractional” kinetics in complex systems: Dielectric properties of fresh fruits and vegetables from 0.01 to 1.8GHz. *Signal Processing*. vol. 86, pp. 2744–2759, 2006.
15. I. Jesus, J. A. T. Machado, J. B. Cunha. Fractional electrical impedances in botanical elements. *Journal of Vibration and Control*. vol. 14, pp. 1389–1402, 2008.
16. L. M. Petrovic, D. T. Spasic, T. M. Atanackovic. On a mathematical model of a human root dentin. *Dental Materials*. vol. 21, no. 2, pp. 125–128, 2005.
17. I. N'Doye, H. Voos, M. Darouach, J. G. Schneider, N. Knauf. An unknown input fractional-order observer design for fractional-order Glucose-Insulin system. In *Proceedings of IEEE EMBS International Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, IEEE, 2012.
18. E. Ahmed, A. M. A. El-Sayed, H. A. A. El-Saka. Equilibrium points, stability and numerical solutions of fractional-order predator-prey and rabies models. *J. Math. Anal. Appl.* vol. 325, pp. 542–553, 2007.

19. Y. Ding, H. Ye. A fractional-order differential equation model of HIV infection of  $CD4^+$  T-cells. *Mathematical and Computer Modelling*. vol. 50, pp. 386–392, 2009.
20. Y. Yan, C. Kou. Stability analysis for a fractional differential model of HIV infection of  $CD4^+$  T-cells with time delay. *Mathematics and Computers in Simulation*. vol. 82, pp. 1572–1585, 2012.
21. E. Ahmed, A. S. Elgazzar. On fractional order differential equations model for nonlocal epidemics. *Physica A*. vol. 379, pp. 607–614, 2007.
22. A. M. A. El-Sayed, A. E. M. El-Mesiry, H. A. A. El-Saka. On the fractional-order logistic equation. *Applied Mathematics Letters*. vol. 20, pp. 817–823, 2007.
23. T. J. Anastasio. The fractional-order dynamics of baimstem vestibulo-oculomotor neurons. *Biological Cybernetics*. vol. 72, pp. 69–79, 1994.
24. T. Kaczorek. Positive linear systems with different fractional orders. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. vol. 58, no. 3, pp. 453–458, 2010.
25. T. Kaczorek. Fractional positive continuous-time linear systems and their reachability. *Int. J. of Applied Mathematics and Computer Science*. vol. 18, no. 2, pp. 223–228, 2008.
26. T. Kaczorek. Positive linear systems consisting of  $n$  subsystems with different fractional orders. *IEEE Trans. on Circuits and Systems*. vol. 58, no. 7, pp. 1203–1210, 2011.
27. T. Kaczorek. Positive fractional continuous-time linear systems with singular pencils. *Polska Akademia Nauk. Bulletin of the Polish Academy of Sciences*. vol. 60, no. 1, pp. 9, 2012.
28. M. Bowicz. Stability of linear continuous-time fractional order systems with delays of the retarded type. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. vol. 56, no. 4, pp. 319–324, 2008.
29. M. Buslowicz. Stability analysis of continuous-time linear systems consisting of  $n$  subsystems with different fractional orders. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. vol. 60, no. 2, pp. 279–284, 2012.
30. M. Buslowicz, T. Kaczorek. Simple conditions for practical stability of positive fractional discrete-time linear systems. *Int. J. of Applied Mathematics and Computer Science*. vol. 19, no. 2, pp. 263–169, 2009.
31. T. Kaczorek, K. Rogowski. *Fractional Linear Systems and Electrical Circuits*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2015.
32. J. Shen, J. Lam. Stability and performance analysis for positive fractional-order systems with time-varying delays. *IEEE Trans. Autom. Control*. vol. 61, no. 9, pp. 2676–2681, 2016.
33. T. Kaczorek. Stability of fractional positive nonlinear systems. *Archives of Control Sciences*. vol. 25, no. 4, pp. 491–496, 2015.
34. A. Benzaouia, A. Hmamed, F. Mesquine, M. Benhayoun, F. Tadeo. Stabilization of continuous-time fractional positive systems by using a Lyapunov function. *IEEE Trans. Autom. Control*. vol. 59, no. 8, pp. 2203–2208, 2014.
35. S. Liang, Y. H. Wei, J. W. Pan, Q. Gao, Y. Wang. Bounded real lemmas for fractional order systems. *International Journal of Automation and Computing*. vol. 12, no. 2, pp. 192–198, 2015.
36. Z. Gao, L. R. Zhai, Y. D. Liu. Robust stabilizing regions of fractional-order PI  $\lambda$  controllers for fractional-order systems with time-delays. *International Journal of Automation and Computing*. vol. 14, no. 3, pp. 340–349, 2017.
37. D. C. Huong, M. V. Thuan. Design of unknown input reduced-order observers for a class of nonlinear fractional-order time-delay systems. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*. vol. 32, no. 3, pp. 412–423, 2018.

38. M. V. Thuan, D. C. Huong. New results on stabilization of fractional-order nonlinear systems via an LMI approach. *Asian Journal of Control*. vol. 20, no. 5, pp. 1–10, 2018.
39. G. G. Luenberger. Observers for multivariable systems. *IEEE Trans. Autom. Control*. vol. 11, pp. 190–197, 1966.
40. G. G. Luenberger. An introduction to observers. *IEEE Trans. Autom. Control*. vol. 16, pp. 596–602, 1971.
41. J. Back, A. Astolfi. Design of positive linear observers for positive linear systems via coordinate transformations and positive realizations. *SIAM J. Control Optim.* vol. 47, no. 1, pp. 345–373, 2008.
42. J. M. Van den Hof. Positive linear observers for linear compartmental systems. *SIAM J. Control Optim.* vol. 36, no. 2, pp. 590–608, 1998.
43. M. Ait Rami, F. Tadeo, U. Helmke. Positive observers for linear positive systems, and their implications. *Int. J. Control*. vol. 84, no. 4, pp. 5716–725, 2011.
44. H. Trinh, D. C. Huong, L. V. Hien, S. Nahavandi. Design of reduced-order positive linear functional observers for positive time-delay systems. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. vol. 64, no. 5, pp. 555–559, 2016.
45. B. Shafai, S. Nazari, A. Oghbaee. Positive unknown input observer design for positive linear systems. In *Proceedings of 19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*. Cheile Gradistei, Romania 2015.
46. D. Guang-Ren. *Analysis and Design of Descriptor Linear Systems*. New York, America: Springer, 2010.
47. T. Kaczorek. Fractional descriptor observers for fractional descriptor continuous-time linear system. *Archives of Control Sciences*. vol. 24, no. 1, pp. 27–37, 2014.
48. I. N'doye, M. Darouach, H. Voos, M. Zasadzinski. Design of unknown input fractional-order observers for fractional-order systems. *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.* vol. 23, no. (3, pp. 491–500, 2013.
49. T. Kaczorek. Reduced-order fractional descriptor observers for fractional descriptor continuous-time linear system. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. vol. 62, no. 4, pp. 889–895, 2014.
50. Y. Boukal, M. Darouach, M. Zasadzinski, N. E. Radhy. Design of functional fractional-order observers for linear time-delay fractional-order systems in the time domain. In *Proceedings of 2014 International Conference on Fractional Differentiation and Its Applications (ICFDA)*, IEEE, pp. 1–6, 2014.

Поступила в редакцию 05.02.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: hagt80@gmail.com – Куан Тай Ха

## КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАТЕКСНЫХ ОПЛЕТЕННЫХ НИТЕЙ

**В.Г. Буткевич\*, Д.Т. Дубаневич\*\*, В.П. Яковлев\*\*, М.С. Ломач\***

*\*Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»*

*\*\*Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»*

*Проблема получения новых видов нитей является весьма актуальной. При разработке латексных оплетенных нитей и оборудования для их формирования необходимо аналитически описать основные технологические этапы.*

*Цель исследования – аналитически описать работу механизма нитераскладчика для получения бобины с латексными оплетенными нитями требуемой формы и размеров.*

**Материал и методы.** *Материалом являются латексные оплетенные нити различной линейной плотности, а также оборудование для их формирования. В качестве компонента сердечника использовался латексный компонент с растяжимостью не менее 600%. Для обкручивающей составляющей применяются различные виды пряжи: полиэфирные, паллиативные, хлопчатобумажные и др. Для определения скоростей и ускорений звенья механизма были представлены в виде замкнутого векторного контура, который был спроектирован на оси координат. Одно- и двукратное дифференцирование полученных уравнений позволило установить угловые скорости и ускорения звеньев нитераскладчика.*

**Результаты и их обсуждение.** *Разработан и изучен технологический процесс формирования латексных оплетенных нитей широкого диапазона линейных плотностей. Разработана и внедрена в производство прядельно-крутильная машина, позволяющая производить до 5 тонн латексных оплетенных нитей в месяц. Для формирования бобины требуемой заказчиком формы и размеров (а это важно для использования предполагаемых нитей в качестве сырья при производстве чулочно-носочных изделий, перчаток технического назначения и др.) проведено аналитическое исследование работы нитераскладчика. Для определения нагрузок на основные элементы механизма нитераскладчика был выполнен кинематический расчет для положения, в котором скорости и ускорения звеньев имеют максимальные значения. Расчеты выполнены с использованием элементов курса «Теория машин, механизмов и роботов».*

**Заключение.** *Результаты исследования применяются для расчета размеров и формы бобины требуемых размеров и формы при изготовлении латексных оплетенных нитей. Полученные аналитические значения перемещений, линейных и угловых скоростей звеньев механизма нитераскладчика показывают, что они могут быть реализованы кинематикой прядельно-крутильной машины и не являются критичными при определении усилий, возникающих во время ее работы.*

**Ключевые слова:** *нить, схема, расчеты, векторный контур, скорость, ускорение.*

## KINEMATIC DEPENDENCIES OF MAKING LATEX WEAVED THREADS

**V.G. Butkevich\*, D.T. Dubanevich\*\*, V.P. Yakaulev\*\*, M.S. Lomach\***

*\*Educational Establishment «Vitebsk State Technological University»*

*\*\*Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»*

*The problem of making new types of threads is rather actual nowadays. It's important to describe the main technological steps while producing latex weaved threads and the equipment for their production.*

*The purpose of the research is to describe the work of the mechanism of the thread handler for getting reels with latex weaved threads of the required form and size.*

**Materials and methods.** *The object of the research is the latex weaved threads of different linear density and the equipment for their production. The latex component with elongation of not less than 600% was used as a core component. To wrap the component different types of yarn are used: polyester, palliative, cotton and others. To define the velocity and acceleration the elements*

of the mechanism were presented as a closed vector contour, which was designed on the reference axis. One-fold and two-fold differentiation of the derived equations allowed to define angular velocity and acceleration of the thread handler's elements.

**Findings and their discussion.** The technological process of producing latex weaved threads of a wide range of linear low-density is developed and researched. The spinning and twisting frame which is able to produce up to 5 tons of latex weaved threads a month is developed and deployed into production. Analytical research of how the thread handler is working has been held to make a reel with the thread of the required form and size, which is essential for using that kind of thread as the raw-material to produce hosiery products and gloves for technical use. To measure the pressure on the main parts of the machine the kinematic calculation is done for the position where the speed and acceleration have the highest value. The calculations are done using the elements of the course «The theory of machines, mechanisms and robots».

**Conclusion.** The results of the research are used to calculate the size and the form of the reel of the required form and size while making latex weaved threads. The obtained values of shifts, linear and angular rates demonstrate that they can be pursued by the kinematics of the spinning and twisting machine and are not critical when defining the efforts which emerge when the equipment is working.

**Key words:** thread, scheme, calculations, vector contour, velocity, acceleration.

**В** настоящее время в текстильной промышленности используется широкий ассортимент нитей и пряж. В качестве сырья применяют различные виды натуральных и химических волокон. Вырабатываются и используются как одиночные нити, так и многокомпонентные. Одним из видов многокомпонентных нитей являются нити, в которых имеется сердечник из высокоэластичной текстильной латексной составляющей.

Латексные оплетенные нити используются в текстильной промышленности для производства чулочно-носочных изделий, изделий технического назначения (строительные перчатки, бахилы и др.). В Республике Беларусь единственным предприятием, производящим для собственного потребления латексные оплетенные нити, было ОАО «КИМ» (г. Витебск). Однако оно в 2015 году было ликвидировано. На сегодняшний день латексные оплетенные нити в Республике Беларусь не производятся и закупается потребляющими их предприятиями за рубежом. Однако данные нити дороги (260–600 руб. за 1 кг). Это связано с тем, что технологический процесс их получения проходит в несколько технологических переходов. Кроме того, работа с чистым латексом (а он закупается в Малайзии, Тайване, Филиппинах) требует соблюдения очень высоких технологических стандартов, которые на имеющемся оборудовании выдержать очень сложно. В результате качество получаемых в конечном итоге изделий не соответствует требованиям потребителя.

Цель исследования – аналитически описать работу механизма нитераскладчика для получения бобины с латексными оплетенными нитями требуемой формы и размеров.

**Материал и методы.** Материалом являются латексные оплетенные нити различной линейной плотности, а также оборудование для их формирования. В качестве компонента сердечника использовался латексный компонент с растяжимостью не менее 600%. Для обкручивающей составляющей применяются различные виды пряж: полиэфирные, паллиативные, хлопчатобумажные и др. Для определения скоростей и ускорений звеньев механизма были представлены в виде замкнутого векторного контура, который был спроектирован на оси координат. Одно- и двухкратное дифференцирование полученных уравнений позволило установить угловые скорости и ускорения звеньев нитераскладчика.

Технологическая схема для получения латексных оплетенных нитей [1], изображенная на рис. 1, состоит из следующих узлов: для деления ленты латексных нитей на одиночные стренги, для подачи элементарных стренг в рабочую зону веретен, для формирования многокомпонентной латексной оплетенной нити, для изготовления бобины с нитью.

В качестве машины-прототипа для разработки была использована машина ОРМ-1. Технологическая и конструкторская новизна заключалась в изменении конструкций веретен, тормозных и раскладывающего устройств, узла для формирования бобины с нитью, в установке механизма подачи латексной ленты в рабочую зону веретен.

Узел для деления ленты латексных нитей на одиночные стренги состоит из прутков для предварительного натяжения ленты 1, питающей пары 2, гребенки-делителя 3, оттяжной пары 4. Узел для подачи элементарной стренги в рабочую зону включает направляющие глазки для подвода каждой стренги к линии веретен (на рис. 1 не показаны), направляющий вал 5, питающую пару 6. Узел для формирования латексной оплетенной нити состоит из соосно установленных полых веретен 7 и 8,



подшипниковых узлов 9, направляющих глазков 10, катушек с нитями оплетки 11 и 12. Узел для формирования бобины с нитью включает вытяжную пару 13, направляющий пруток 14, раскладчик 15, мотальный барабан 16.

Машина работает следующим образом. Лента латексных нитей (состоит из 40 элементарных стренг) 17 поступает из коробки 18, распрямляется и получает предварительное натяжение при движении через прутики 1. Питающая пара 2 подает ленту к гребенке 3, где она разделяется на 40 элементарных нитей 19 и выводится оттяжной парой 4, поступает при помощи направляющего вала 5 и питающей пары 6 к полуму веретену 7. Последнее 7 вращается на подшипниках 9. На полых веретенах 7 и 8 установлены катушки с нитями оплетки 11 и 12. Латексная нить 19 проходит через канал веретена 20 и в зоне глазка 10 к ней прикручивается нить оплетки 21. Сформированный продукт проходит через канал 25 полого веретена 8 и в зоне глазка 10 к нему прикручивается нить оплетки 22, где и получается латексная оплетенная нить 23. Эта нить вытяжной парой 13 через пруток 14 и раскладчик 15 поступает на барабан 16, который формирует бобину 24.

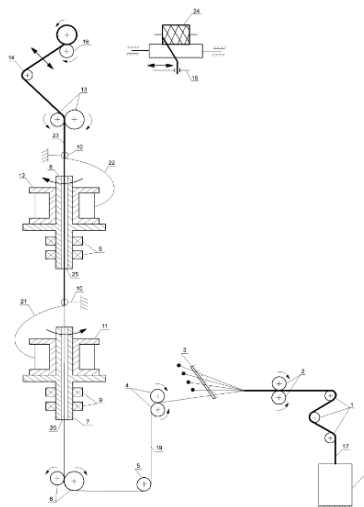


Рис. 1. Машина для получения латексных оплетенных нитей

На рис. 2 представлена схема механизма раскладчика: 1 – бобина с нитью, 2 – мотальный вал, 3 – глазок раскладчика (точка С схемы), 4 – глазок направляющей (точка Е схемы). Механизм раскладчика представляет собой кривошипно-ползунный механизм с присоединительной группой Ассура второго класса пятого вида. Движение точек С и Е с различной амплитудой обеспечивает требуемое перемещение наматываемой высокорастяжимой нити на катушку и, как следствие, формирование бобины с нитью требуемой формы.

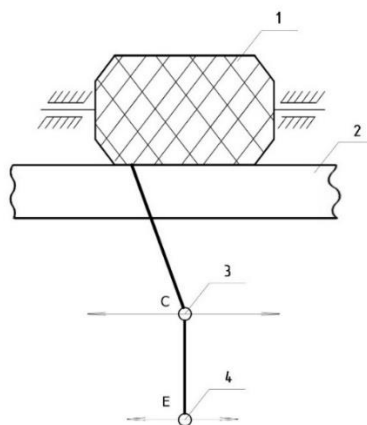


Рис. 2. Схема механизма раскладчика

**Результаты и их обсуждение.** Разработан и изучен технологический процесс формирования латексных оплетенных нитей широкого диапазона линейных плотностей. Разработана и внедрена в производство прядильно-крутильная машина, позволяющая производить до 5 тонн латексных оплетенных нитей в месяц. Для формирования бобины требуемой заказчиком формы и размеров проведено аналитическое исследование работы нитераскладчика. Для определения нагрузок на основные элементы механизма был выполнен кинематический расчет положения, в котором скорости и ускорения звеньев имеют максимальные значения. Расчеты выполнены с использованием элементов курса «Теоретическая механика». Кинематическая схема привода раскладчика представлена на рис. 3. Согласно данной схеме был проведен кинематический расчет, т.е. определены параметры движения основных звеньев механизма раскладки [2].

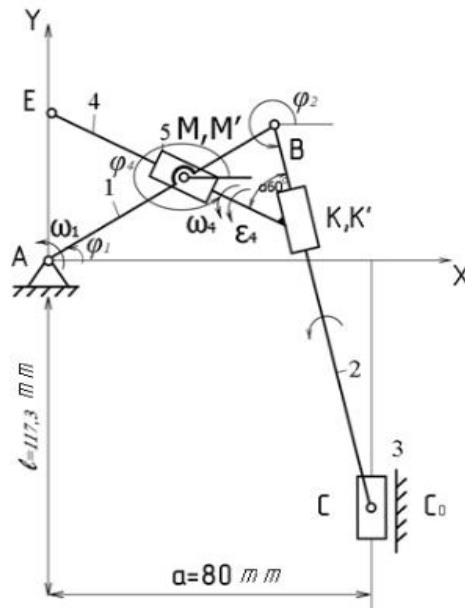


Рис. 3. Кинематическая схема

Для определения нагрузок на основные элементы механизма выполнен расчет для положения, в котором скорости и ускорения имеют максимальное значение.

Проведем кинематический расчет.

Сначала рассмотрим первый контур механизма, состоящий из подвижных звеньев 1, 2, 3.

Исследуем контур основного механизма.

Составим векторное уравнение:

$$\vec{l}_c + \vec{l}_1 + \vec{l}_2 = \vec{a}.$$

Спроектируем данное уравнение на оси X и Y:

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos\varphi_1 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 = a, \\ -l_c + l_1 \cdot \sin\varphi_1 + l_2 \cdot \sin\varphi_2 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Из 1-го уравнения найдем угол  $\varphi_2$ :

$$\cos\varphi_2 = \frac{a - l_1 \cdot \cos\varphi_1}{l_2} = \frac{0.08 - 0.06 \cdot \cos 30^\circ}{0.15} = 0.1869$$

$$\varphi_2 = \arccos 0.1869 = 280.77^\circ.$$

Продифференцируем систему (1) по времени [3]:

$$\begin{cases} -l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2 = 0, \\ l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2 = V_{cc}. \end{cases} \quad (2)$$

Из 1-го уравнения найдем угловую скорость  $\omega_2$ :

$$\omega_2 = -\frac{l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1}{l_2 \cdot \sin\varphi_2} = -\frac{0.06 \cdot \sin 30^\circ \cdot 50}{0.15 \cdot \sin 280.77^\circ} = 10.179 (\text{рад/с}).$$

Продифференцируем систему (2) по времени:

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1^2 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2^2 + l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 = 0, \\ -l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2^2 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 = a^r c c_0. \end{cases} \quad (3)$$

Из 1-го уравнения найдем угловое ускорение  $\varepsilon_2$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= -\frac{l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1^2 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2^2}{l_2 \cdot \sin\varphi_2} = \\ &= -\frac{0.06 \cdot \cos 30^\circ \cdot 50^2 + 0.15 \cdot \cos 280.77^\circ \cdot 10.179^2}{0.15 \cdot \sin 280.77^\circ} = 901.2486 (\text{рад}/\text{с}^2). \end{aligned}$$

Из 2-го уравнения найдем релятивное ускорение  $a^r c c_0$ :

$$\begin{aligned} a^r c c_0 &= l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 - l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2^2 = \\ &= 0.15 \cdot \sin 280.77^\circ \cdot 901.2486 - 0.06 \cdot \sin 30^\circ \cdot 50^2 - 0.15 \cdot \sin 280.77^\circ \cdot 10.179^2 = \\ &= -34/469 (\text{м}/\text{с}^2). \end{aligned}$$

Переходим к исследованию присоединительной группы Ассур второго класса пятого вида. Рассмотрим контур MBK.

Обозначим:  $\overline{l_{MB}} = \overline{l_1}$ ;  $\overline{l_{BK'}} = \overline{l_2}$ ;  $\overline{l_{M'K}} = \overline{l_4}$ , где  $l_{MB} = 0.03(\text{м})$ .

Угол  $\varphi_4$  будет равен:

$$\varphi_4 = 180^\circ - 360^\circ + \varphi_2 + \alpha + 180^\circ = \varphi_2 + \alpha = 280.77^\circ + 60^\circ = 340.77^\circ.$$

Запишем векторную сумму:

$$\overline{l_1} + \overline{l_2} = \overline{l_4}.$$

Спроектируем данное уравнение на оси X и Y:

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos\varphi_1 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 = l_4 \cdot \cos\varphi_4, \\ l_1 \cdot \sin\varphi_1 + l_2 \cdot \sin\varphi_2 = l_4 \cdot \sin\varphi_4. \end{cases} \quad (4)$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_2$  найдем длину  $l_4$ :

$$l_4 = \frac{l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)} = \frac{0.03 \cdot \sin(30^\circ - 280.77^\circ)}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} = 0.0327(\text{м}).$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_4$  найдем длину  $l_2$ :

$$l_2 = \frac{l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_4)}{\sin(\varphi_2 - \varphi_4)} = \frac{0.03 \cdot \sin(30^\circ - 340.77^\circ)}{\sin(280.77^\circ - 340.77^\circ)} = 0.0262(\text{м}).$$

Продифференцируем систему (4) по времени:

$$\begin{cases} -l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2 + V_{K'K} \cdot \cos\varphi_4 - V_{M'M} = l_4 \cdot \sin\varphi_4 \cdot \omega_4, \\ l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2 + V_{M'M} \cdot \sin\varphi_4 = l_4 \cdot \cos\varphi_4 \cdot \omega_4. \end{cases} \quad (5)$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_2$  найдем линейную скорость  $V_{M'M}$ :

$$\begin{aligned} V_{M'M} &= \frac{l_1 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \omega_2 - l_4 \cdot \cos(\varphi_4 - \varphi_2) \cdot \omega_4}{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)} = \\ &= \frac{0.03 \cdot \cos(30^\circ - 280.77^\circ) \cdot 50 + 0.0262 \cdot 10.179 - 0.0327 \cdot \cos(340.77^\circ - 280.77^\circ) \cdot 10.179}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} = \\ &= -0.4546 (\text{м}/\text{с}), \end{aligned}$$

где  $\omega_4 = \omega_2 = 10.179 (\text{рад}/\text{с})$ , так как звенья 2 и 4 соединены поступательно.

Из 1-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_4$  найдем линейную скорость  $V_{K'K}$ :

$$\begin{aligned} V_{K'K} &= \frac{V_{M'M} + l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_4) \cdot \omega_1 + l_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_4) \cdot \omega_2}{\cos(\varphi_4 - \varphi_2)} = \\ &= \frac{-0.4546 + 0.03 \cdot \sin(30^\circ - 340.77^\circ) \cdot 50 + 0.0262 \cdot \sin(280.77^\circ - 340.77^\circ) \cdot 10.179}{\cos(340.77^\circ - 280.77^\circ)} = \\ &= 0.9008 (\text{м}/\text{с}). \end{aligned}$$

Продифференцируем систему (5) по времени:

$$\begin{cases} -l_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2^2 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 - 2V_{K'K} \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2 + a^r_{K'K} \cdot \cos\varphi_2 = \\ \quad = a^r_{M'M} \cdot \cos\varphi_4 - 2V_{M'M} \cdot \sin\varphi_4 \cdot \omega_4 - l_4 \cdot \cos\varphi_4 \cdot \omega_4^2 - l_4 \cdot \sin\varphi_4 \cdot \varepsilon_4, \\ -l_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \omega_1^2 - l_2 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \omega_2^2 + l_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \varepsilon_2 - 2V_{K'K} \cdot \cos\varphi_2 \cdot \omega_2 + a^r_{K'K} \cdot \sin\varphi_2 = \\ \quad = a^r_{M'M} \cdot \sin\varphi_4 + 2V_{M'M} \cdot \cos\varphi_4 \cdot \omega_4 + l_4 \cdot \cos\varphi_4 \cdot \varepsilon_4 - l_4 \cdot \sin\varphi_4 \cdot \omega_4. \end{cases} \quad (6)$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_2$  найдем релятивное ускорение  $a_{M'M}^r$ :

$$a_{M'M}^r = \frac{l_2 \cdot \varepsilon_2 + 2V_{K'K} \cdot \omega_2 - l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \omega_1^2 - 2V_{M'M} \cdot \cos(\varphi_4 - \varphi_2) \cdot \omega_4}{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)} +$$

$$+ \frac{-l_4 \cdot \cos(\varphi_4 - \varphi_2) \cdot \varepsilon_4 + l_4 \cdot \sin(\varphi_4 - \varphi_2) \cdot \omega_4^2}{\sin(\varphi_4 - \varphi_2)} =$$

$$= \frac{0.0262 \cdot 901.2486 + 2 \cdot 0.9008 \cdot 10.179 - 0.03 \cdot \sin(30^\circ - 280.77^\circ) \cdot 50^2}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} +$$

$$+ \frac{-2 \cdot (-0.4546) \cdot \cos(340.77^\circ - 280.77^\circ) \cdot 10.179 - 0.0327 \cdot \cos(340.77^\circ - 280.77^\circ) \cdot 901.2486}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} +$$

$$+ \frac{0.0327 \cdot \sin(340.77^\circ - 280.77^\circ) \cdot 10.179^2}{\sin(340.77^\circ - 280.77^\circ)} = -41.614(\text{м/с}^2).$$

Из 2-го уравнения поворотом на угол  $\varphi_4$  найдем релятивное ускорение  $a_{K'K}^r$ :

$$a_{K'K}^r = \frac{2V_{M'M} \cdot \omega_4 + l_1 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_4) \cdot \omega_1^2 + l_2 \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_4) \cdot \omega_2^2}{\sin(\varphi_2 - \varphi_4)} +$$

$$+ \frac{-l_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_4) \cdot \varepsilon_2 - 2V_{K'K} \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_4) \cdot \omega_2}{\sin(\varphi_2 - \varphi_4)} =$$

$$= \frac{2 \cdot (-0.4546) \cdot 10.179 + 0.0327 \cdot 901.2486 + 0.03 \cdot \sin(30^\circ - 340.77^\circ) \cdot 50^2}{\sin(280.77^\circ - 340.77^\circ)} +$$

$$+ \frac{0.0262 \cdot \sin(280.77^\circ - 340.77^\circ) \cdot 10.179^2 - 0.0262 \cdot \cos(280.77^\circ - 340.77^\circ) \cdot 901.2486^2}{\sin(280.77^\circ - 340.77^\circ)} -$$

$$- \frac{2 \cdot 0.9008 \cdot \cos(280.77^\circ - 340.77^\circ) \cdot 10.179}{\sin(280.77^\circ - 340.77^\circ)} = -61.994(\text{м/с}^2),$$

где  $\varepsilon_4 = \varepsilon_2 = 901.2486(\text{рад/с}^2)$ .

**Заключение.** По результатам вышеприведенных исследований с применением элементов курса «Теоретическая механика» (раздел «Кинематика») были определены усилия, действующие на исполнительный орган нитераскладчика. Данные результаты используются для расчета размеров и формы бобины требуемых размеров и формы при изготовлении латексных оплетенных нитей. Полученные аналитические значения перемещения, линейных и угловых скоростей звеньев механизма нитераскладчика показывают, что они могут быть реализованы кинематикой прядильно-крутильной машины и не являются критичными при определении усилий, возникающих во время ее работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буткевич, В.Г. Исследование прочности питающего компонента при формировании латексных оплетенных нитей / В.Г. Буткевич, А.С. Лебедкин, Е.А. Федорова // Актуальные проблемы прочности: материалы 60-й Международ. науч. конф., Витебск, 14–18 мая 2018 г. / УО «ВГТУ», ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси». – Витебск, 2018. – С. 170–172.
2. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин: учебник для вузов / И.И. Артоболевский. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1975. – 639 с.
3. Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике. Таблицы, арифметика, алгебра, геометрия, тригонометрия, функции и графики / М.Я. Выгодский. – СПб.: Союз, 1997. – 336 с.

#### REFERENCES

1. Butkevich, V.H. Researching the strength of the feeding component while making latex weaved threads / V.H. Butkevich, A.S. Lebyodkin, E.A. Fyodorova // 60<sup>th</sup> International science conference «Actual problems of strength»: the materials of the conference, Vitebsk, 14–18 May 2018 / EE «VSTU», SSU «Institute of Technical Acoustics of Belarusian Academy of Science». – Vitebsk, 2018. – P. 170–172.
2. Artobolevsky, I.I. The theory of mechanisms and machines: textbook for higher technical establishments / I.I. Artobolevsky. – 3d edition. – Moscow: Science, 1975. – 639 p.
3. Vygotsky, M.Y. Reference book on elementary mathematics. Tables, arithmetic, algebra, geometry, trigonometry, functions and graphics / M.Y. Vygotsky. – Saint Petersburg: Soyuz, 1997. – 336 p.

Поступила в редакцию 01.04.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: 314ph@mail.ru – Буткевич В.Г.



УДК 581.526.32

## АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИИ БОРЩЕВИКА НА ТЕРРИТОРИИ ОРШАНСКОГО РАЙОНА ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю.И. Высоцкий

Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»

В статье приводятся данные о распространении борщевика на территории Оршанского района Витебской области, характеризуются состояние отдельных очагов инвазии и их распределение по разным типам земель.

Цель исследования – изучить распространение борщевика по территории района, охарактеризовать состояние отдельных очагов инвазии, создать ГИС и векторные карты очагов инвазии борщевика.

**Материал и методы.** Материалом являлись инвазивные популяции борщевика на территории Оршанского района. Эколого-флористические исследования проводились детально-маршрутным методом с применением GPS-навигации; обработка результатов осуществлялась с использованием ГИС-технологий и ГИС-картографирования, решение статистических и расчетных задач – с применением электронной карты.

**Результаты и их обсуждение.** Созданы картографическая база данных распространения борщевика в программе OziExplorer и ГИС в программе MapInfo. Проведен ГИС-анализ распространения борщевика по территории района, распределения земель, засоренных борщевиком, по землепользователям. Определено состояние обследованных колоний борщевика и фитоценозов в местах его произрастания.

При инвентаризации мест произрастания борщевика зарегистрированы GPS-координаты 42 колоний борщевика общей площадью 39,5 га, состоящих из 309 изолированных локальных мест произрастания (локусов).

В Оршанском районе основная доля зарослей борщевика приходится на неиспользуемые земли (обочины дорог и придорожные канавы) – 22%. На втором месте дворы (территории ферм, складов, мехдворы и т.д.) – 21%, на третьем – луговые земли (17,5%). На четвертом месте закустаренные земли, где борщевик занимает все прогалины и поляны, – 16%. Далее идут «водотоки» или мелиоративные каналы – 10%. Это окраины полей и поля, примыкающие к брошенным фермам.

**Заключение.** За прошедшие 7 лет успехов в борьбе с распространением борщевика не достигнуто. По сравнению с 2011 г. в 2017 г. площади, засоренные борщевиком, увеличились в 26 раз (с 1,5 га до 39,5 га). В 4 раза возросло число землепользователей и в 7,7 раза количество мест произрастания.

**Ключевые слова:** борщевик, гербициды, ГИС, ГИС-технологии, инвазивные популяции, инвентаризация, карта распространения, колонии борщевика, места произрастания, очаги инвазии.

# ANALYSIS OF THE SPREAD OF HOGWEED INVASION ON THE TERRITORY OF ORSHA DISTRICT OF VITEBSK REGION

Yu.I. Vysotski

*Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»*

*Data on Hogweed spread on the territory of Orsha District of Vitebsk Region are presented in the article; the state of several invasion hotbeds is characterized as well as their distribution over different land types.*

*The purpose of the research is to study Hogweed spread over the District territory, to characterize the state of several invasion hotbeds, to make up computer and vector maps of Hogweed invasion hotbeds.*

**Material and methods.** *The material was Hogweed invasion populations on the territory of Orsha District. The ecological and floristic studies were conducted by the detail and route method applying GPS-navigation; the results were processed by computer technology and mapping, the solution of statistic and estimation problems with the application of an e-map.*

**Findings and their discussion.** *The map data base of Hogweed spread in OziExplorer and MapInfo computer program were created. A computer analysis of Hogweed spread on the territory of the District, of the distribution of Hogweed populated lands among land users was made. The state of the studied Hogweed colonies and phytocenoses in its growing places is identified.*

*The inventory of Hogweed sites registered GPS-coordinates of 42 Hogweed colonies on the territory of 39,5 hectares, which included 309 isolated local sites of growth (locus).*

*In Orsha District the main share of Hogweed thickets is on unused land (roadsides and ditches) – 22%. The second place is taken by yards (farm, warehouse territories, garages etc.) – 21%. The third place is taken by meadows – 17,5%. The fourth place is taken by fasting land, where Hogweed occupies all glades and clearing – 16%. Next go water flows or melioration canals – 10%. These are field edges and fields next to abandoned farms.*

**Conclusion.** *Over the seven years there hasn't been any success in fighting Hogweed spread. Compared to 2011 in 2017 Hogweed areas increased by 26 times (from 1,5 hectares to 39,5 hectares). The number of land users increased 4 times and 7,7 times the number of growing sites.*

**Key words:** *Hogweed, herbicides, computer technologies (GIS), invasion populations, inventory, the map of spread, Hogweed colonies, areas of growth, invasion hotbeds.*

**В** 70–80-е годы прошлого века борщевик Сосновского культивировался в Беларуси и соседних странах как кормовое силосное растение. Борщевик Сосновского считался высокоурожайной кормовой культурой. Низкая себестоимость его возделывания, возможность многолетнего использования посевов борщевика без ежегодной вспашки и внесения удобрений, получение двух полноценных укусов зеленой массы привлекали аграриев к выращиванию этого потенциально опасного вида на больших площадях сельскохозяйственных угодий [1; 2].

Со временем выяснилось, что «минусов» от внедрения новой культуры оказалось больше, чем «плюсов», и борщевик перестали культивировать. Но чужеродный вид выжил и начал активное распространение самосевом и из нового кормового растения превратился в агрессивный сорняк, интенсивно расселяющийся на землях сельскохозяйственных и промышленных предприятий и в зонах отчуждения дорог [3].

Сегодня этот инвазивный вид широко распространился в придорожных полосах, на окраинах полей и полях с многолетними травами, хозяйственных дворах старых ферм, старых колхозных садах, на лугах и пастбищах, залежных землях, а также на землях поселений. Особенно много борщевика в неперспективных и вымирающих деревнях.

Главная опасность борщевика Сосновского в том, что после обсеменения даже одного растения возникает колония, занимающая определенную территорию. Это вид-трансформер, который благодаря выделению химических веществ в почву угнетает аборигенную флору и изменяет состав фитоценоза. Существующий природный фитоценоз деградирует, происходит его замещение на ассоциацию сорных растений с преобладанием борщевика, при этом резко сокращается видовой состав луговых трав. На неиспользуемых в хозяйстве территориях борщевик образует монодоминантные сообщества, а на склонах возникает угроза эрозии почвы [4–7].

Сказанное особенно актуально для Витебской области с ее сложным ледниковым ландшафтом, большим количеством неудобных для сельскохозяйственных работ земель. Поэтому здесь засоренность территории борщевиком самая высокая в республике.

В 2017 г. ВГУ имени П.М. Машерова выполнялась НИР «Оценка угроз распространения инвазивных видов бальзамин, борщевик, золотарник на территории Витебской области, молекулярно-генетическое изучение их таксономического состава» в рамках ГПНИ «Природопользование и экология», п/п 2 «Биоразнообразие, биоресурсы, экология», *комплексное задание 2.05 «Оценка угроз и разработка системы рисков от внедрения инвазивных видов в нативные сообщества как элемент экологической безопасности Республики Беларусь».*

В ходе работы была проведена инвентаризация мест произрастания борщевика в Оршанском районе Витебской области.

Цель исследования – определить площадь распространения инвазивных видов рода борщевик, используя ГИС-технологии.

**Материал и методы.** Материалом послужили очаги инвазии борщевика на территории Оршанского района. Маршрут исследования составлялся на основе данных о местах произрастания колоний борщевика, полученных в районной инспекции природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Полевые исследования осуществлялись детально-маршрутным методом с применением GPS-навигации; обработка результатов велась с помощью ГИС-технологий и ГИС-картографирования.

**Результаты и их обсуждение.** Оршанский район находится в юго-восточной части области в верховье р. Днепр и имеет площадь 1,7 тыс. км<sup>2</sup>. С севера на юг его протяженность составляет 53 км, с запада на восток – 44 км. Территория названного района освоена хорошо. Общая площадь сельскохозяйственных угодий 102,6 тыс. га, в т.ч. 73,88 тыс. га пашни. Сельскохозяйственные земли занимают 58,1%, из которых на луговые земли приходится 22,5%, на пахотные земли и земли под постоянными культурами – 77,5%. Несельскохозяйственных земель установлено 41,9%. Специализация сельскохозяйственного производства района – мясо-молочное животноводство с развитым производством зерна и льна. В районе работает более 20 сельскохозяйственных предприятий, в т.ч. свиноводческие комплексы, комплексы по откорму крупного рогатого скота, птицефабрика, тепличный комбинат, экспериментальные базы [8].

В 2011 г. в Оршанском районе выявлено 8 мест произрастания борщевика у 8 землепользователей общей площадью 1,5 га. В 2016 г. находится на учете 32 места у 26 пользователей общей площадью 18,2 га.

При инвентаризации очагов инвазии в июле-августе 2017 г. зарегистрированы GPS-координаты 42 колоний борщевика общей площадью 39,5 га, состоящих из 309 изолированных локальных мест произрастаний (локусов) у 32 землепользователей. По сравнению с 2011 г. в 2017 г. в 4 раза возросло число землепользователей, в 7,7 раза – количество мест произрастания.

Контуры всех локалитетов зарослей инвазивных растений зафиксированы с использованием ГИС-технологий и перенесены на карты. Исследование ландшафтов и картографических материалов, анализ данных GPS-фиксации, изучение аэрофотоснимков позволили выделить из соседних пятен зарослей (локусов) 42 самостоятельные колонии борщевика.

В местах компактного произрастания близкие колонии образуют очаг инвазии – более крупную региональную группировку, хорошо заметную на карте. Очаги группируются в еще более крупные региональные объединения – центры инвазии. На территории района места произрастания борщевика сосредоточены в 3 крупных центрах распространения инвазии: «Южном», «Центральном», «Северном» (рис. 1).

**Центр инвазии «Северный»** расположен на севере района на границе с Сенненским и Витебским районами на территории Высоковского с/с, в окрестностях озера Девинское. Центр образован одним большим очагом инвазии «Девино» и несколькими отдельными малыми колониями (рис. 1).

Очаг образован 7 самостоятельными разнотипными колониями, состоящими из 44 локалитетов. Общая площадь зарослей борщевика в регионе 1,666 га (4% от площади по району). Борщевик произрастает в д. Замосточье (3 локалитета) и д. Девино (6 локалитетов), а также на восток от деревни на землях сельхозкомбината «Тепличный». В д. Брюхово зафиксированы два локалитета, в г.п. Ореховск – один.



Очаг инвазии «Немерово» расположен на северо-запад от г. Орша на территории Пищаловского с/с. Он локализуется в д. Немерово и прилегающих сельхозземлях. Очаг образован 7 разнотипными колониями общей площадью 0,964 га, состоящими из 25 отдельных локальных мест произрастания борщевика.

Очаг инвазии «Заслоновка» находится на запад от г. Орша на территории Заболотского и Задровьевского сельских советов. Борщевик произрастает в 4 деревнях: Заболотье, Заслоновка, Ломачино и Нижняя Веровойша, а также на прилегающих угодьях СХУП «Радуньское». Особенно много зарослей по пойме р. Адров на заброшенных луговых землях и неудобьях. Всего в этом регионе зафиксировано 24 изолированных мест произрастания борщевика, образующих 5 отдельных колоний. Площадь зарослей борщевика в очаге 3,372 га (рис. 2).





Очаг инвазии «Росский Селец» – на запад от г. Орша на территории Задровьевского с/с. Борщевик произрастает в 2 деревнях (Засекли и Росский Селец), на территории хоздвора фермы и по пойме ручья в районе школы, на прилегающих с/х землях ОАО «Росский Селец». Очаг образован 5 разнотипными колониями, состоящими из 25 отдельных мест произрастания борщевика общей площадью 2,184 га.

Очаг инвазии «Загородная» расположен на восток от г. Орша на территории Крапивинского с/с в д. Загородная и прилегающих к деревне с/х угодьях. Большая часть пятен борщевика произрастает по склонам поймы ручья на восточной окраине деревни. Очаг образован 2 колониями и состоит из 24 отдельных локусов общей площадью 3,565 га.

**Центр инвазии «Южный»** находится в южной части района вдоль автодороги М8 и в окрестностях деревень Козловичи и Романово. Центр образован 3 отдельными удаленными друг от друга очагами инвазии.

Очаг инвазии «Дорога М8–Козловичи» расположен на юг от г. Орша на территории Зубовского с/с. Заросли борщевика локализуются по придорожным полосам дороги на д. Козловичи-2. Очаг образован 3 колониями, состоящими из 34 локусов общей площадью 3,188 га.

Очаг инвазии «Козловичи» – на юг от г. Орша на территории Зубовского с/с, на самой границе района. Заросли борщевика локализуются в д. Козловичи 2 и на прилегающих полях ОАО «Агрокомбинат “Юбилейный”». В деревне заросли борщевика повсеместно: вдоль улиц по нежилым подворьям, на пустырях, хоздворе котельной, на хоздворе комплекса по откорму молодняка. Очаг образован 11 колониями, состоящими из 106 локалитетов общей площадью 24,04 га. Это самый большой по площади зарослей борщевика очаг инвазии, который будет быстро захватывать неиспользуемые земли.

Очаг инвазии «Романово» расположен на самом юге Оршанского района на территории Зубовского с/с. Очаг образован 3 колониями, состоящими из 8 локалитетов общей площадью 0,387 га: 2 малые колонии по дороге к деревне и большая колония на южной окраине д. Романово, на хоздворе старой закрытой фермы.

В 2017 г. нами разработана классификация колоний борщевика по пространственному расположению, где выделено 5 типов: площадные колонии, пятнистые, ленточные, пятнисто-ленточные и точечные. Для классификации состояния инвазивного вида в месте произрастания выделено 6 категорий: уничтожен, сильно угнетен, угнетен, стабилен, прогрессирует, доминирует [9].

Описание состояния колоний на территории Оршанского района показало, что около 60% очагов относится к прогрессирующей и доминирующей категории, 17% стабильны, 23% в угнетенном и сильно угнетенном состоянии. По пространственному расположению выявлены все 5 типов колоний.

Соотношение площадей инвазии на разных типах земель отражено на рис. 3.

На неиспользуемых землях (дорожные откосы и придорожные канавы) сосредоточено 22% зарослей борщевика по району (8,83 га из 39,53). Заросли на территориях хозяйственных дворов занимают 2-е место по площади – 21%(8,29 га). На третьем месте – заброшенные луговые земли (17,5%; 6,9 га), на четвертом – прочие лесопокрываемые (закустаренные) земли (16%; 6,3 га). На пятом месте водотоки (мелиоративные каналы), по склонам которых быстро распространяется инвазия борщевика, – 10% (3,41 га).

Распределение площади земель, засоренных борщевиком, по сельским советам иллюстрирует рис. 4.

Самый засоренный борщевиком Зубовский сельсовет, на его территорию приходится 70% (27,683 га) от всех зарослей по району (от 39,5 га). На территории Зубовского с/с борщевик растет в четырех н.п.: д. Козловичи 1, д. Козловичи 2, д. Лемна, д. Яковлевичи. Эти деревни с прилегающими землями ОАО «Агрокомбинат “Юбилейный”» образуют самый большой в Оршанском районе очаг инвазии «Козловичи», состоящий из 106 отдельных мест произрастания. В д. Козловичи 2 заросли борщевика встречаются повсеместно: вдоль улиц, на заброшенных подворьях и по огородам многих жилых усадеб. Ситуация в деревне близка к критической.

В Крапивинском с/с борщевик произрастает в д. Загородная и на прилегающих землях селекционно-гибридного центра «Заднепровский». Здесь компактно расположены 26 мест произрастания, образующих большой очаг инвазии «Загородная». Заросли борщевика занимают 3,565 га (9% от площади по району). На всей территории очага ведется борьба с борщевиком (90% зарослей скашивается). По пойме ручья на восточной окраине деревни проведены химобработка и сдвигание грунта. Колония борщевика сильно угнетена, но сохраняет потенциал повторного восстановления на прежней площади.



Рис. 3. Засоренность борщевиком разных типов земель

В Задровьевском с/с борщевик произрастает в 4 деревнях: Засекли, Погостик, Понизовье, Росский Селец. Заросли борщевика встречаются на нежилых подворьях, вдоль улиц, на пустырях, хоздворах и прилегающих с/х землях ОАО «Задровье» и ОАО «Росский Селец». Вместе они образуют очаг инвазии «Росский Селец», насчитывающий 39 отдельных локальных мест произрастания общей площадью 2,872 га (7% от площади по району).

В Заболотском с/с борщевик произрастает в 4 деревнях: Заболотье, Заслоновка, Ломачино и Нижняя Веровойша, а также на прилегающих угодьях СХУП «Радунское». Особенно много зарослей по пойме р. Адров на заброшенных луговых землях и неудобьях. Всего в этом регионе 24 изолированных места произрастания, образующих очаг инвазии «Заслоновка». Общая площадь зарослей борщевика в очаге 2,684 га (6,8% от площади по району). Борьба с распространением не ведется. На всех участках борщевик обсеменяется.

В Высоковском с/с борщевик произрастает в д. Замосточье (3 локалитета) и д. Девино (6 локалитетов), а также на восток на землях сельхозкомбината «Тепличный». Общая площадь зарослей борщевика в регионе 1,666 га (4% от площади по району). Всего в регионе 44 отдельных локалитета борщевика, образующего очаг инвазии «Девино». Борьба с распространением ведется на 50% площадей. На неудобьях борщевик цветет и обсеменяется.

В Пищаловском с/с борщевик произрастает в д. Немерово и на прилегающих с/х землях ОАО «Росский Селец». Всего в регионе 28 локальных мест произрастания, образующих очаг инвазии «Немерово». Общая площадь зарослей борщевика 0,964 га (2% от площади по району). Проводятся скашивание и химобработка, колонии угнетены. Обсеменяется только на неудобьях.

В Ореховском с/с борщевик выявлен только в г.п. Ореховск: 2 локалитета в пойме р. Выдрица в районе моста (0,066 га). Существует перспектива активного расселения по пойме вниз по течению реки.



Рис. 4. Засоренность борщевиком территорий сельских советов

В Бабиничском с/с выявлено 2 места произрастания: в д. Морозово и 1 по дороге в деревню. Площадь зарослей 0,027 га. Борщевик скашивается, угнетен.

В Борздовском с/с отмечено 1 место произрастания в аг. Борздовка (0,003 га). Скашивается, угнетен.

Полевые исследования выявили, что в населенных пунктах на 50% площадей зарослей борщевика не проводились никакие мероприятия по борьбе с его распространением. Около трети площадей зарослей борщевика частично скашивается. На оставшейся территории борщевик созревает, поэтому в земле пополняется запас семян, что позволяет колонии расширять площадь распространения.

**Заключение.** За прошедшие 7 лет успехов в борьбе с распространением борщевика не достигнуто: по сравнению с данными 2011 г. на момент инвентаризации в августе 2017 г. площади, засоренные борщевиком, возросли в 26 раз (с 1,5 га до 39,5 га).

Более чем на трети площади очагов никакой борьбы не ведется. Большой почвенный банк семян позволит этому инвазивному растению в последующие годы значительно увеличить занимаемую площадь.

Анализ распространения борщевика в разных ландшафтах показывает, что более 70% земель, пораженных инвазией борщевика, являются антропогенными ландшафтами. В местах, где сохранился естественный ландшафт, наблюдается значительно меньшая степень засорения территории борщевиком. Среди естественных ландшафтов наиболее уязвимыми к внедрению борщевика являются луга, склоны озерных котловин, окраины лесных массивов. В инвазии борщевика антропогенные факторы ведущие, а деятельность или бездействие человека – ключевой фактор его распространения.

Таким образом, угроза распространения *Heracleum Sosnowskyi* исходит из очагов инвазии, основными из которых, как и во всех ранее обследованных районах, являются заброшенные фермы, окраины полей, где в предыдущие годы производился посев борщевика, вымирающие деревни, линии дорог [10–12].

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кудинов, М.А. Интродукция борщевиков в Белоруссии / М.А. Кудинов, А.Е. Касач, И.И. Чекалинская, В.В. Черник, А.К. Чурилов. – Минск: Наука и техника, 1980. – 200 с.
2. Сацыперова, И.Ф. Борщевика флоры СССР – новые кормовые растения: перспективы использования в народном хозяйстве / И.Ф. Сацыперова. – Л.: Наука, 1984. – 218 с.
3. Медведев, И.В. Рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского / И.В. Медведев, С.Л. Сметанников. – Вологда, 1981. – 40 с.
4. Нильсон, Ш. Практическое пособие по борьбе с гигантскими борщевиками (на основе европейского опыта по борьбе с инвазивными сорняками) / ред.: Ш. Нильсон, Г. Равн, В. Нентвиг, М. Вейд. – Hoersholm: Forest & Landscape Denmark, 2005. – 44 с.
5. Методические рекомендации по борьбе с неконтролируемым распространением борщевика Сосновского / сост.: Н.В. Дальке, И.Ф. Чадин. – Сыктывкар, 2008. – 28 с.
6. Дальке, И.В. Борщевик Сосновского – инвазивный вид в агроклиматической зоне Республики Коми / И.В. Дальке, И.Ф. Чадин, И.Г. Захожий, Р.В. Малышев, Т.К. Головки // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–26 окт. 2012 г. / под ред. В.И. Парфенова. – Минск: Минсктиппроект, 2012. – С. 440–443.
7. Ламан, Н.А. Гигантские борщевика – опасные инвазивные виды для природных комплексов и населения Беларуси / Н.А. Ламан, В.Н. Прохоров, О.М. Масловский. – Минск, 2009. – 40 с.
8. Калинин, М.Ю. Природные ресурсы и охрана окружающей среды г. Орша и Оршанского района / М.Ю. Калинин; Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Оршанская горрайинспекция природных ресурсов и охраны окружающей среды. – Минск: ООО «Белсэнс», 2008. – 160 с.
9. Высоцкий, Ю.И. Анализ распространения инвазивных борщевиков на территории Дубровенского района Витебской области / Ю.И. Высоцкий, Л.М. Мерзвинский, А.Б. Торбенко, Ю.И. Новикова, С.Э. Латышев, И.М. Морозов // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та. – 2017. – № 3(96). – С. 49–55.
10. Высоцкий, Ю.И. Анализ распространения инвазии борщевика на территории Лиозненского района Витебской области / Ю.И. Высоцкий // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та. – 2017. – № 4(97). – С. 48–53.
11. Высоцкий, Ю.И. Анализ распространения инвазивных борщевиков на территории Сенненского района Витебской области / Ю.И. Высоцкий // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та. – 2018. – № 1(98). – С. 48–53.
12. Высоцкий, Ю.И. Анализ распространения инвазии борщевика на территории Городокского района Витебской области / Ю.И. Высоцкий, Л.М. Мерзвинский, И.М. Морозов, А.Б. Торбенко // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та. – 2018. – № 4(96). – С. 66–72.

## R E F E R E N C E S

1. Kudinov M.A., Kasach A.E., Chekalinskaya I.I., Chernik V.V., Churilov A.K. *Introduktsiya borshchevikov v Belorussii* [Introduction of Hogweed in Belarus], Minsk, Nauka i tekhnika, 1980, 200 p.
2. Satsiperova I.F. *Borshcheviki flori SSSR – novije kormoviye rasteniya: perspektivi ispolzovaniya v narodnom khoziaystve* [Hogweed of the Flora of the USSR – New Fodder Plants: Prospective in Economy Application], L., Nauka, 1984, 218 p.
3. Medvedev I.V., Smetannikov S.L. *Rekomendatsii po borbe s borshchevikom Sosnovskogo* [Guidelines on Combating Hogweed], Vologda, 1981, 40 p.
4. Nilsson Sh., Hans Rawn, Wolfgang Nentwig, Max Weid. *Practical Guidelines on Combating Gigantic Hogweed (on the Basis of European Experience of Combating Invasive Weed, Hoersholm, Forest. Landscape Denmark, 2005, 44 c.*
5. Dalke N.V., Chadin I.F. *Metodicheskiye rekomendatsii po borbe s nekontroliruyemym rasprostraneniym borshchevika Sosnovskogo* [Guidelines on Combating Uncontrolled Spread of Hogweed], Syktyvkar, 2008, 28 p.
6. Dalke I.V., Chadin I.F., Zakhozhi I.G., Malyshev R.V., Golovko T.K. *Problemi sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i ispolzovaniya biologicheskikh resursov: materialy II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Minsk, 22–26 oktiabria 2012* [Issues of the Preservation of Biological Diversity and Application of Biological Resources: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Scientific and Practical Conference, Minsk, October 22–26, 2012], Minsk, Minsktipproyekt, 2012, pp. 440–443.
7. Laman N.A., Prokhorov V.N., Maslovski O.V. *Gigantskiye borshcheviki – opasniye invazivniye vidy dlia prirodnkh kompleksov i naseleniya Belarusi* [Gigantic Hogweed – Dangerous Invasive Species for Nature Complexes and the population of Belarus], V.F. Kuprevich institute of Experimental Botany, Minsk, 2009, 40 p.
8. kalinin M.Yu. *Prirodniye resursy i okhrana okruzhayushchei sredi goroda Orsha i Orshanskogo rayona* [Nature Resources and Environmental Protection of the City of Orsha and Orsha District], Minsk, ООО «Belsens», 2008, 160 p.
9. Vysotski Yu.I., Merzhvinski L.M., Torbenko A.B., Novikova Yu.I., Latyshev S.E., Morozov I.M. *Vesnik Vitsebskaga dzharzhavnaga un-ta* [Journal of Vitebsk State University], 2017, 3(96), pp. 49–55.
10. Vysotski Yu.I. *Vesnik Vitsebskaga dzharzhavnaga un-ta* [Journal of Vitebsk State University], 2017, 4(97), pp. 48–53.
11. Vysotski Yu.I. *Vesnik Vitsebskaga dzharzhavnaga un-ta* [Journal of Vitebsk State University], 2018, 1(98), pp. 48–53.
12. Vysotski Yu.I., Merzhvinski L.M., Morozov I.M., Torbenko A.B. *Vesnik Vitsebskaga dzharzhavnaga un-ta* [Journal of Vitebsk State University], 2018, 4(96), pp. 66–72.

Поступила в редакцию 26.03.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: yura-v@tut.by – Высоцкий Ю.И.

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КОНСОРЦИИ

П.Ю. Колмаков, Е.В. Антонова

Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»

Строение корневой системы – это уменьшенная зеркальная проекция кроны дерева, геометрическое подобие, своеобразная анизоморфия. С возрастными изменениями происходит нарушение соотношений объемных пропорций кроны и корневой системы, но с сохранением определенной сбалансированности надземной и подземной частей растения, то есть проявляется действие динамического равновесия, что приводит к устойчивости растений в пространстве и во времени.

Взаимное узнавание грибного и растительного компонентов изначально осуществляется на молекулярном уровне: на основе сходных нуклеотидных последовательностей, с которых происходит экспрессия генов. Это является следствием эволюции на молекулярном уровне.

Цель работы – проанализировать особенности морфологического и анатомического строения микоризных корневых окончаний *Picea abies* (L.) Karst. в импактной зоне.

**Материал и методы.** Материал исследования – односезонные корни Ели обыкновенной *Picea abies* (L.) Karst. (семейство Pinaceae Lindl.). Использованы описательно-сравнительные методы исследования, в частности аналитический эксперимент в научно-исследовательской лаборатории.

**Результаты и их обсуждение.** В индивидуальной консорции существует математическая и физиологическая зависимость объемов форм кроны и корневой системы.

Форма контура ширококонической подземной части не изменяется, так как корневая система должна удерживать узкоконическую форму кроны. Изменяется наполнение и распределение корней по контуру с активизацией корнеобразования по его периферии. Корни-разведчики из группы simple лучше всего развиваются со стороны, менее подверженной вытаптыванию (принцип комфортности).

Сплошная суберинизация экзодермальных клеток как барьер к повторному проникновению грибного компонента внутрь корневого окончания и предотвращения его выхода наружу является способом контроля над грибом. Гриб более мобилен в эволюционном и физиологическом плане, чем растение.

С изменением пространственного распределения корневой системы меняются глубина и объемно-структурные соотношения консортивных связей (закон морфологического соответствия).

**Заключение.** Растение контролирует и регулирует проникновение грибного компонента. Идет постоянное отмирание и образование микоризных корневых окончаний, что согласуется с принципами непрерывности процессов, устойчивости во времени и пространстве.

Структурные изменения сопряжены с экологическими и физиологическими факторами. Последние зависят от видового состава растительного и грибного компонентов.

Принцип динамического равновесия согласуется с законом пространственно-временного морфолого-анатомического баланса индивидуальной консорции: над- и подземные части растения, а также непрерывное взаимодействие грибного и растительного компонентов в микоризных корневых окончаниях объемно-пропорционально соответствуют друг другу на протяжении онтогенетического развития растения и гриба.

Взаимоконтроль над физиологическими процессами и регуляция функций обоих партнеров консорции являются доказательствами коэволюции.

**Ключевые слова:** микоризные корневые окончания, консортивные связи, пропорциональные соотношения наземной и подземной частей, экологическая и онтогенетическая анизоморфия.

## STRUCTURAL FEATURES OF AN INDIVIDUAL CONSORTIUM

P.Yu. Kolmakov, E.V. Antonova

Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

The structure of the root system is a diminished mirror projection of the tree crown, a geometric copy, a kind of anyzomorphy. Ageing processes result in the imbalance of the correlation of the volume proportions of the crown and the root system but with the preservation of a certain balance between the under-earth and above-earth parts of the plant; otherwise, dynamic balance takes place which results in the stability of the plant in space and in time.

*Mutual recognition of the fungi and the plant components is initially performed on the molecular level: on the basis of similar nucleotide sequences from which the expression of genes takes place. This is the result of evolution on the molecular level.*

*The purpose of the paper is to analyze the features of the morphological and anatomical composition of mycorrhizal root endings of Picea abies (L.) Karst. in the impact zone.*

**Material and methods.** *The research material is one season roots of Picea abies (L.) Karst. (the family of Pinaceae Lindl.). The descriptive and comparative research methods are used: an analytical experiment at the research laboratory.*

**Findings and their discussion.** *In an individual consortium there is mathematical and physiological dependence of the volumes of the crown and the root system forms.*

*The contour form of the wide-cone under-earth part does not change since the root system must keep the narrow-cone form of the crown. The contour filling and the distribution of roots transforms with the activation of root formation over its periphery. Scout roots from the simple group develop better on the side, which is less trampled down (the comfort principle).*

*Overall suberization of exodermal cells is a way of control over fungi as a barrier against secondary penetration of the fungi component into the root ending and prevention of its exit outside. The fungus is more mobile evolutionally and physiologically than the plant.*

*With the transformation of the space distribution of the root system the depth and the volume and structural correlations of consort links (the law of morphological correspondence) change.*

**Conclusion.** *The plant controls and regulates the penetration of the fungus component. Constant dying and formation of mycorrhizal root endings goes on which agrees with the principles of continuity of the processes, stability in time and space.*

*Structural changes agree with ecological and physiological factors. The latter depend on the species composition of the plant and the fungus components.*

*The principle of dynamic balance agrees with the law of space and time morphological and anatomic balance of an individual consortium: the above- and the under earth parts of the plant as well as continuous interaction of the fungus and plant components in mycorrhizal root endings correspond each other from the volume and proportional point of view over the ontogenetic development of the plant and the fungus.*

*Mutual control and regulation of functions of physiological processes of both the consortium partners are the proof of co-evolution.*

**Key words:** *mycorrhizal root endings, consort links, proportional correlations of the above and under earth parts, ecological and ontogenetic anyzomorph.*

Устойчивое состояние любого комплекса достигается только сбалансированностью противоположностей [1]. Любой вид организмов – это сложная адаптивная система, интегрирующая в своей организации опыт длительного исторического взаимодействия с определенной экологической средой в рамках разветвления тех возможностей развития, которые были унаследованы им от соответствующего предка. Следовательно, нельзя упускать из поля зрения те явления и признаки, в которых может находить выражение преемственность в развитии форм организмов, вероятные каналы этой преемственности, затемняемой последующими адаптивными изменениями тех или иных черт организации. Суть сложности в отношении использования морфологических признаков в эволюционных реконструкциях состоит в диалектике взаимосвязей формы (структуры) и содержания (функции). Взаимозависимость формы и функции имеет огромное значение при познании закономерностей биологической организации как целого и ее эволюции. Любая форма служит для выполнения определенной функции или нескольких функций. Через функциональное совершенствование отбор приводит к прогрессивной дифференциации органов и тканей, причем не исключается в какой-то мере и регрессивный морфогенез. Функциональная дифференциация однотипных гомологичных органов может вести к их соответствующему структурному преобразованию. Органическая форма обусловлена комплексной реакцией организма данного вида на типичные условия его формирования [2]. Органическая форма отображает проявление внутренних связей, характеризующих жизнь на каждом уровне: органеллы, клетки, ткани, органы, организмы. Форма представляет собой выражение саморегулирующегося равновесия, которое достигается при развитии, поддерживается в течение жизни и восстанавливается в случае его нарушения [3].

Возможно, строение корневой системы – это зеркальная проекция кроны дерева в уменьшенных пропорциональных соотношениях. Наблюдается некое геометрическое подобие, своеобразная анизоморфия. Однако с возрастными изменениями происходит и нарушение соотношений объемных пропорций кроны и корневой системы, но с сохранением определенной сбалансированности надземной и подземной частей растения, то есть проявляется действие динамического равновесия, что приводит к устойчивости растений в пространстве и во времени.

В природных условиях у взрослых деревьев короткие боковые корни первого, второго и последующих порядков, обладающие обычно ограниченным ростом, образуются сезонно на оси длинных неограниченно растущих корней [4].

Ель как эдификатор не только потому, что тенелюбивая порода, но и, возможно, за счет многочисленных отмирающих односезонных микоризных корневых окончаний. Глицериды феллоновой кислоты долго разлагаются. В результате происходит разрыхление почвы и изменение pH субстрата.

В ходе эволюционного развития эколого-морфологические стороны адаптаций конвергируют сильнее, чем физиолого-биохимические. Это особенно касается молекулярного уровня организации [2].

При первом контакте гиф с поверхностью корня они могут претерпевать морфологические изменения перед формированием чехла или сети Гартига. Эти изменения заключаются в усилении ветвления и слияния кончиков гиф [5]. Механизмы, действующие при прикреплении совместимых гиф к корню и отторжении несовместимых, пока неизвестны, но на тонкость подобных механизмов указывают различия в совместимости при соединении растения-хозяина с разными изолятами эктомикоризного (далее ЭМ) гриба [6–8]. Есть свидетельство того, что в защитной реакции может участвовать более интенсивное отложение фенольных соединений в точке контакта с несовместимыми видами или штаммами [9], но это, вероятно, позднее проявление многих эффектов, возникающих при взаимодействии, среди которых наиболее значимые действуют на молекулярном уровне [10].

Возможно, взаимное узнавание грибного и растительного компонентов осуществляется изначально на молекулярном уровне: на основе сходных нуклеотидных последовательностей, с которых происходит экспрессия генов. Это является следствием эволюции на молекулярном уровне.

Есть предположение, что у хвойных стенки корневых клеток в зоне, восприимчивой к внедрению, имеют более высокое соотношение пектин/целлюлоза, чем в полностью сформировавшихся клеточных стенках, и тем самым они более доступны для проникновения грибного симбионта. Способность ЭМ грибов при определенных условиях вырабатывать ферменты, необходимые для разложения неодревесневших клеточных стенок, демонстрирует их проникновение в клетки ризодермы при образовании арбутоидных и эктэндомикориз. Последовательное развитие ведет к появлению структурной целостности, возможно, принимающей участие в обмене питательными веществами, и завершается проникновением грибного партнера сквозь стенку отмирающей клетки. Продолжительность этой последовательности событий около 80 дней. К этому времени чехол может еще присутствовать в качестве отмирающей структуры или постепенно утрачиваться [11].

Функциональная продолжительность жизни контактной зоны гриб–корень – порядка нескольких дней [11], структурные элементы тонких корней могут сохраняться в почве годами. Эти временные различия, которые оказывают существенное влияние как на обмен питательными веществами на уровне отдельной особи растений, так и на круговорот C в пределах экосистемы, осложняют изучение и определение продолжительности жизни ЭМ корневого окончания. Учитывая эти трудности, следует различать сроки функционирования на клеточном уровне и жизни ЭМ окончания в целом [12; 13].

Исследование анатомии столетней ели выявило резкий контраст между продолжительностью функционирования микоризной контактной зоны и сроками существования всего органа в целом. Основываясь преимущественно на облике тканей стелы, А. Орлов вычислил, что свыше 40% таких корней сохраняли жизнеспособность более чем в течение трех лет [12; 13].

Цель работы – проанализировать особенности морфологического и анатомического строения микоризных корневых окончаний *Picea abies* (L.) Karst. в импактной зоне.

**Материал и методы.** Материал исследования – односезонные корни Ели обыкновенной *Picea abies* (L.) Karst. (семейство *Pinaceae* Lindl.). Использованы описательно-сравнительные методы исследования, в частности аналитический эксперимент в научно-исследовательской лаборатории.

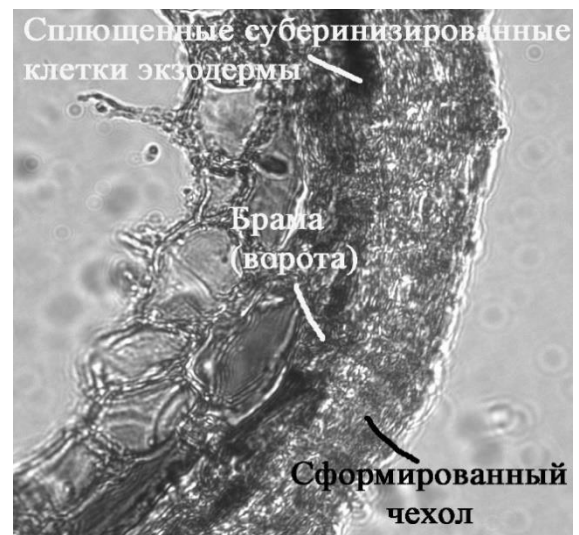
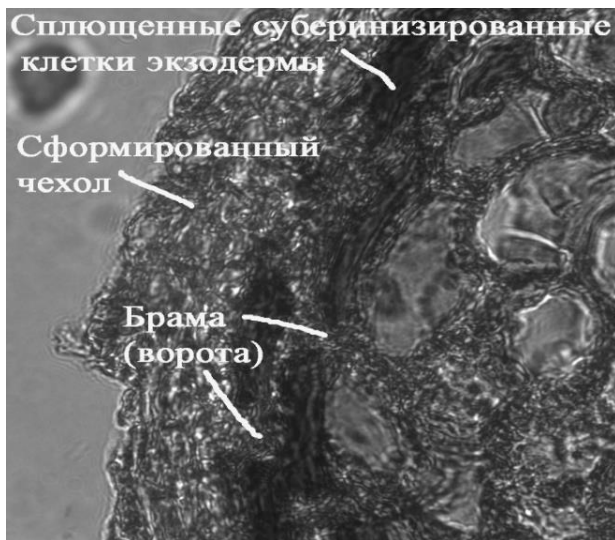
Методика исследований рассмотрена нами в работе по проникновению грибного компонента в корневые окончания *Picea abies* (L.) Karst. [14].

**Результаты и их обсуждение.** Живые организмы в консорции взаимодействуют друг с другом в рамках эдасферы. Соотношение между над- и подземными частями эдасферы играет большую роль в динамическом и устойчивом развитии консортивных связей [15].

В индивидуальной консорции, вероятно, существует математическая и физиологическая зависимость объемов форм кроны и корневой системы.

Форма контура ширококонической подземной части не изменяется, так как корневая система должна удерживать узкоконическую форму кроны. Изменяется наполнение и распределение корней по контуру с активизацией корнеобразования по его периферии. Корни-разведчики из группы simple лучше всего развиваются со стороны, менее подверженной вытаптыванию (принцип комфортности) (рис. 4).

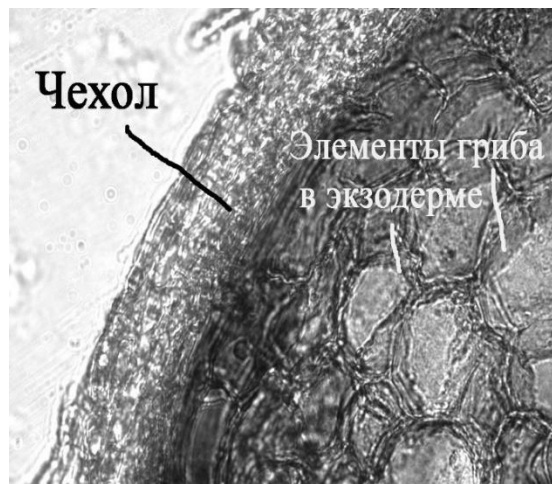
Особенности морфологического и анатомического строения микоризных корневых окончаний *Picea abies* (L.) Karst. в импактной зоне отражают комплексы на рис. 1–4.



Максимальное развитие гриба и корня при открытой браме (воротах). Растение опаздывает с суберинизацией. Через браму (ворота) в экзодерме гриб ушел и сформировал чехол. В чехле нет стерильных элементов гимениального слоя. Часть грибного компонента остается внутри в отдельных клетках коры и стелы в виде везикул и пелотонов. Гриб вышел → стела уменьшается и не функционирует. Гриб более мобилен в эволюционном и физиологическом плане, чем растение.

Рис. 1. Анатомический комплекс 1





Сплошная суберинизация экзодермальных клеток может быть расценена как способ контроля над грибом, как барьер к повторному проникновению грибного компонента внутрь корневого окончания и предотвращения его выхода наружу. Гриб «закрыт» внутри клеток растительного компонента. Тем самым завершается данный этап развития корня. Начинается следующий – финальный.

Рис. 2. Анатомический комплекс 2



Деструкция корневого окончания и грибного чехла. Функционально мертвый рыхлый чехол. Пелотоны и везикулы «замкнуты» внутри клеток экзо-мезодермы. Возможно, переполнение клеток стелы и первичной коры грибным компонентом приводит к повышенной предельной суберинизации как способу защиты растения от вторжения гриба и, в конечном итоге, к отмиранию корневого окончания. Этот корень умер, но улучшил эдафическую обстановку вокруг себя для новых корневых окончаний.

Растение и гриб достигли физиологического конечного пика. Динамическое равновесие дошло до финала.

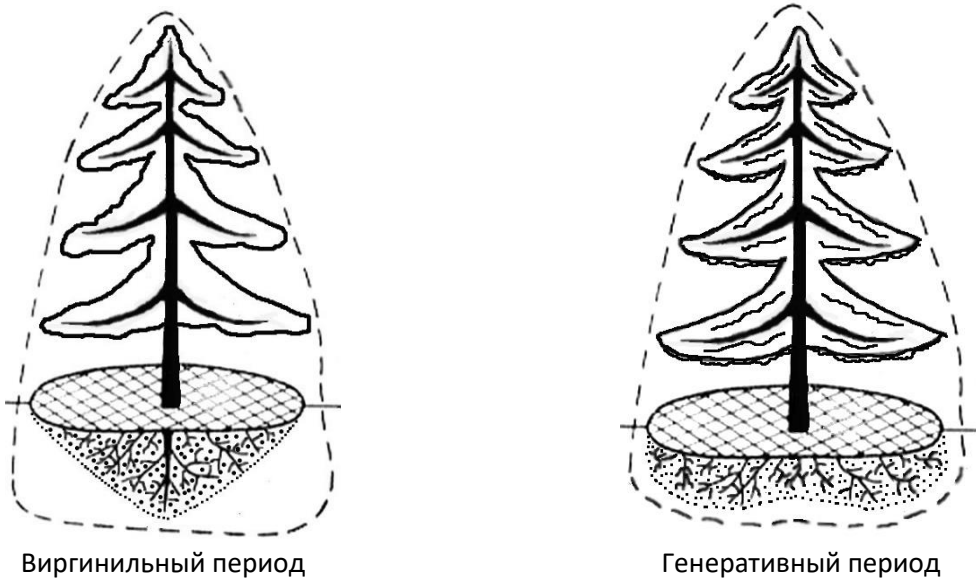
Рис. 3. Анатомический комплекс 3



Антрополическое воздействие приводит к неравномерной суберинизации корня. Увеличивается механическая прочность корневого окончания, и гриб в этом в какой-то мере помогает, в связи с чем одна сторона корня остается функциональной.

Анатомия и морфология взаимосвязаны. Односторонняя суберинизация формирует однобокий корень. Нарушения в развитии подземной части приводят к деградации надземной части растения: проявляется четко выраженная эколическая анизоморфия.

Рис. 4. Анатоомо-морфологический комплекс 4



Виргинильный период

Генеративный период

Для ели консортивные связи важны. Она получает больше питательных веществ от консортивных связей, чем от главного корня. Соответственно указанные связи прочнее и более устойчивы. Консортивные связи дерево–гриб расширяют функционально-физиологические возможности ширококонической подземной части.

Увеличение количества микоризных окончаний коррелирует с объемным ростом надземной части. С изменением пространственного распределения корневой системы меняются глубина и объемно-структурные соотношения консортивных связей (закон морфологического соответствия).

При нарушении пропорциональности наступает следующая стадия онтогенетического развития.

Рис. 5. Онтогенетическая анизоморфия *Picea abies* (L.) Karst.

**Заключение.** Растение контролирует и регулирует проникновение грибного компонента. Идет постоянное отмирание и образование микоризных корневых окончаний, что согласуется с принципами непрерывности процессов, устойчивости во времени и пространстве.

Структурные изменения сопряжены с экологическими и физиологическими факторами. Последние зависят от видового состава растительного и грибного компонентов.

Принцип динамического равновесия согласуется с законом пространственно-временного морфолого-анатомического баланса индивидуальной консорции: над- и подземные части растения, а также непрерывное взаимодействие грибного и растительного компонентов в микоризных корневых окончаниях объемно-пропорционально соответствуют друг другу на протяжении онтогенетического развития растения и гриба.

Взаимоконтроль над физиологическими процессами и регуляция функций обоих партнеров консорции являются доказательствами коэволюции.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хлебович, В.В. О стратегических решениях живой природы / В.В. Хлебович // Успехи современной биологии. – 2018. – Т. 138, № 6. – С. 627–630.
2. Рыковский, Г.Ф. Происхождение и эволюция мохообразных / Г.Ф. Рыковский. – Минск: Бел. навука, 2011. – 433 с.
3. Синнот, Э. Морфогенез растений / Э. Синнот. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 603 с.
4. Смит, С.Э. Микоризный симбиоз / С.Э. Смит, Д.Д. Рид. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 776 с.
5. Jacobs, P.E. Altered fungal morphogenesis during early stages of ectomycorrhiza in *Eucalyptus pilularis* / P.E. Jacobs, R.L. Peterson, H.B. Massicotte // Scanning Microscopy. – 1989. – Vol. 3. – P. 249–255.
6. Malajczuk, N. Infectivity of pine and eucalypt isolates of *Pisolithus tinctorius* on the roots of *Eucalyptus urophylla* in vitro / N. Malajczuk, F. Lapeyrie, J. Garbaye // New Phytologist. – 1990. – Vol. 114. – P. 627–631.

7. Lei, J. Root factors stimulate  $^{32}\text{P}$  uptake and plasmalemma ATPase activity in vesicular mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita* / J. Lei, G. Bécard, J.G. Catford, Y. Piché // New Phytologist. – 1991. – Vol. 118. – P. 289–294.
8. Burgess, T. Variation in mycorrhizal development and growth stimulation of 20 isolates of *Pisolithus* inoculated onto *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden / T. Burgess, B. Dell, N. Malajczuk // New Phytologist. – 1994. – Vol. 127. – P. 731–739.
9. Malajczuk, N. Ectomycorrhiza formation in Eucalyptus. II. The ultrastructure of compatible and incompatible mycorrhizal fungi and associated roots / N. Malajczuk, R. Molina, R. Trappe // New Phytologist. – 1984. – Vol. 96. – P. 43–53.
10. Albrecht, C. Chitinase and peroxidase activities are induced in *Eucalyptus* roots according to aggressiveness of Australian ectomycorrhizal strains of *Pisolithus* sp. / C. Albrecht, T. Burgess, B. Dell, F. Lapeyrie // New Phytologist. – 1994. – Vol. 127. – P. 217–222.
11. Downes, G.M. A study of spruce *Picea sitchensis* Bong. Carr. Ectomycorrhizas. I. Morphological and cellular changes in mycorrhizas formed by *Tylospora fibrillose* Burt Donk and *Paxillus involutus* (Batsch ex Fr.) Fr. / G.M. Downes, I.J. Alexander, J.W.G. Cairney // New Phytologist. – 1992. – Vol. 122. – P. 141–152.
12. Orlov, A. Observations on absorbing roots of spruce (*Picea exelsa* Link.) in conditions / A. Orlov // Botanicheskii Zhurnal SSSR. – 1957. – Vol. 42. – P. 1172–1180.
13. Orlov, A.Y. Further observations on the growth of absorbing roots of spruce (*Picea exelsa* Link.) in natural conditions / A.Y. Orlov // Botanicheskii Zhurnal SSSR. – 1960. – Vol. 173. – P. 91–102.
14. Колмаков, П.Ю. Проникновение грибоного компонента в корневые окончания *Picea abies* (L.) Karst. / П.Ю. Колмаков, Е.В. Антонова // Весн. Віцеб. дзярж. ун-та. – 2017. – № 4(97). – С. 40–47.
15. Корчагин, А.А. Строение растительных сообществ / А.А. Корчагин // Полевая геоботаника. – Л.: Наука, 1976. – Т. V. – 320 с.

## REFERENCES

1. Khlebovich V.V. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Advances of the Contemporary Biology], 2018, 6(138), pp. 627–630.
2. Rykovskii G.F. *Proiskhozhdeniye i evolutsiya mokhoobraznykh* [Origin and Evolution of Bryophytes], Mn., Bel. navuka, 2011, 433 p.
3. Synnot E. *Morfogenez rasteni* [Morphogenesis of Plants], M., Izdatelstvo inostrannoi literature, 1963, 603 p.
4. Smyth S.E., Read D.D. *Mikorizni simbioz* [Mycorisis Symbiosis], M., Tovarishestvo nauchnykh izdani KMK, 2012, 776 p.
5. Jacobs, P.E. Altered fungal morphogenesis during early stages of ectomycorrhiza in *Eucalyptus pilularis* / P.E. Jacobs, R.L. Peterson, H.B. Massicotte // Scanning Microscopy. – 1989. – Vol. 3. – P. 249–255.
6. Malajczuk, N. Infectivity of pine and eucalypt isolates of *Pisolithus tinctorius* on the roots of *Eucalyptus urophylla* in vitro / N. Malajczuk, F. Lapeyrie, J. Garbaye // New Phytologist. – 1990. – Vol. 114. – P. 627–631.
7. Lei, J. Root factors stimulate  $^{32}\text{P}$  uptake and plasmalemma ATPase activity in vesicular mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita* / J. Lei, G. Bécard, J.G. Catford, Y. Piché // New Phytologist. – Vol. 118. – 1991. – P. 289–294.
8. Burgess, T. Variation in mycorrhizal development and growth stimulation of 20 isolates of *Pisolithus* inoculated onto *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden / T. Burgess, B. Dell, N. Malajczuk // New Phytologist. – 1994. – Vol. 127. – P. 731–739.
9. Malajczuk, N. Ectomycorrhiza formation in Eucalyptus. II. The ultrastructure of compatible and incompatible mycorrhizal fungi and associated roots / N. Malajczuk, R. Molina, R. Trappe // New Phytologist. – 1984. – Vol. 96. – P. 43–53.
10. Albrecht, C. Chitinase and peroxidase activities are induced in *Eucalyptus* roots according to aggressiveness of Australian ectomycorrhizal strains of *Pisolithus* sp. / C. Albrecht, T. Burgess, B. Dell, F. Lapeyrie // New Phytologist. – Vol. 127. – 1994. – P. 217–222.
11. Downes, G.M. A study of spruce *Picea sitchensis* Bong. Carr. Ectomycorrhizas. I. Morphological and cellular changes in mycorrhizas formed by *Tylospora fibrillose* Burt Donk and *Paxillus involutus* (Batsch ex Fr.) Fr. / G.M. Downes, I.J., Alexander, J.W.G. Cairney // New Phytologist. – 1992. – Vol. 122. – P. 141–152.
12. Orlov, A. Observations on absorbing roots of spruce (*Picea exelsa* Link.) in conditions / A. Orlov // Botanicheskii Zhurnal SSSR. – Vol. 42. – 1957. – P. 1172–1180.
13. Orlov, A. Y. Further observations on the growth of absorbing roots of spruce (*Picea exelsa* Link.) in natural conditions / A.Y. Orlov // Botanicheskii Zhurnal SSSR. – 1960. – Vol. 173. – P. 91–102.
14. Kolmakov P.Yu., Antonova E.V. *Vesnik VDU* [Journal of Vitebsk State University], 2017, 4 (97), pp. 40–47.
15. Korchagin A.A. *Polevaya geobotanika* [Field Geobotany], 1976, Ln., Nauka, V, 320 p.

Поступила в редакцию 18.03.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: pavel\_kolmakov@list.ru – Колмаков П.Ю.

УДК 577.164.1:577.152.3

## МЕТАБОЛИЗМ ТИАМИНДИФОСФАТА В ПЕЧЕНИ КУРИЦЫ

И.К. Колос, А.Ф. Макаричов

Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет»  
Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси

Тиаминдифосфат (ТДФ) является коферментной формой витамина  $B_1$ . В настоящее время метаболизм ТДФ у птиц не изучен.

Цель работы – исследование свойств ферментов, катализирующих биосинтез и гидролиз ТДФ в печени курицы.

**Материал и методы.** Использованы информационные ресурсы NCBI, EBI, геномного браузера Ensembl, методы ферментативной кинетики, биоинформатики, гель-хроматография.

**Результаты и их обсуждение.** Активность тиаминпирофосфокиназы в печени курицы не выявлена, хотя анализ аминокислотных последовательностей свидетельствует о наличии в молекуле фермента консервативных остатков, существенных для каталитической активности гомологичных белков млекопитающих. Установлено, что гидролиз ТДФ в гомогенате печени курицы протекает в широком диапазоне pH, при этом наблюдаются два оптимума активности – при pH 6,0–6,5 и pH 9,5. ТДФазная активность, регистрируемая в щелочных условиях, обусловлена действием двух мембранно-ассоциированных белков –  $Mg^{2+}$ -независимой щелочной фосфатазы и  $Mg^{2+}$ -зависимой фосфатазы. При кислых pH гидролиз ТДФ в гомогенате печени курицы катализируется мембранно-ассоциированной  $Mg^{2+}$ -зависимой фосфатазой.

**Заключение.** Отсутствие тиаминпирофосфокиназной активности, определяемой стандартными методами, в печени курицы указывает на то, что ферменту присущи существенные структурно-функциональные особенности по сравнению с гомологичными белками млекопитающих. В клетках печени кур гидролиз ТДФ, вероятно, катализируется неспецифическими нуклеозиддифосфатазами L- и B-типов.

**Ключевые слова:** тиаминдифосфат, тиаминпирофосфокиназа, тиаминдифосфатаза, нуклеозиддифосфатаза, щелочная фосфатаза, печень курицы.

METABOLISM OF THIAMINE DIPHOSPHATE  
IN CHICKEN LIVER

I.K. Kolas, A.F. Makarchikov

Educational Establishment «Grodno State Agrarian University»  
Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds, NAS of Belarus

Thiamine diphosphate (ThDP) is the coenzyme form of vitamin  $B_1$ . Metabolism of ThDP in birds has not been studied to date.

The aim of the present paper was to study some properties of enzymes catalyzing ThDP biosynthesis and hydrolysis in chicken liver.

**Material and methods.** The research was performed using NCBI and EBI databases, Ensembl genome browser, methods of enzyme kinetics and bioinformatics, size exclusion chromatography.

**Findings and their discussion.** The activity of thiamine pyrophosphokinase was not revealed in chicken liver, though amino acid sequence analysis indicates the predicted chicken full-length enzyme to contain conservative residues important for catalytic activity of mammalian homologous proteins. In liver homogenate, the hydrolysis of ThDP was shown to occur in a wide range of pH, two optima being observed at pH 6,0–6,5 and pH 9,5. ThDPase activity observed in alkaline conditions is due to the action of two membrane-bound proteins –  $Mg^{2+}$ -independent alkaline phosphatase and a  $Mg^{2+}$ -dependent phosphatase. The hydrolysis of ThDP in liver homogenate at acid pHs was revealed to be catalyzed by a membrane-associated  $Mg^{2+}$ -dependent phosphatase.

**Conclusion.** The absence of thiamine pyrophosphokinase activity in chicken liver under standard assays implies the enzyme to possess significant structure-functional features as compared to homologous mammalian proteins. In chicken liver cells, the hydrolysis of ThDP is apparently catalyzed by non-specific L- and B-type nucleoside diphosphatases.

**Key words:** thiamine diphosphate, thiamine, thiamine diphosphatase, nucleoside diphosphatase, alkaline phosphatase, chicken liver.

**В**итамин В<sub>1</sub> находится в клетках живых организмов в форме нескольких витамеров – свободного тиамина, ТМФ, ТДФ, ТТФ и АТТФ, среди которых количественно преобладает ТДФ, выполняющий коферментные функции в реакциях энергетического, углеводного, липидного и аминокислотного обменов [1]. В настоящее время у животных идентифицировано 5 ТДФ-зависимых белков – пируватдегидрогеназа (КФ 1.2.4.1), оксоглутаратдегидрогеназа (КФ 1.2.4.2), 3-метил-2-оксобутаноатдегидрогеназа (КФ 1.2.4.4), транскетолаза (КФ 2.2.1.1) и 2-гидроксиацил-КоА-лиаза (КФ 4.1.2.n2) ([www.brenda-enzymes.org](http://www.brenda-enzymes.org)). Помимо осуществления коферментных функций ТДФ занимает центральное место в системе внутриклеточного обмена витамина В<sub>1</sub>, являясь предшественником для синтеза ТТФ и АТТФ, а также субстратом фосфатаз, катализирующих гидролиз ТДФ до ТМФ. В клетках млекопитающих ТДФ синтезируется из тиамин и АТФ под действием цитозольной ТПК (КФ 2.7.6.2) [2]. В гидролиз ТДФ у млекопитающих предположительно вовлечены неспецифические НДФазы (КФ 3.6.1.6) [3; 4]. Сведения о метаболизме ТДФ у птиц в литературе отсутствуют.

Цель работы – исследование свойств ферментов, участвующих в обмене ТДФ в печени курицы (*Gallus gallus*).

**Материал и методы.** Использованы тиамин «AcrosOrganics»; ТДФ, трис «AppliChem»; левамизол, *п*-НФФ, ДОХ, ИДФ, ТХУ «SigmaAldrich»; тойоперл HW-55 «ToyoSoda Co.»; БСА, ферритин, овальбумин, цитохром с «Serva»; голубой декстран, АТФ, NADH, ЛДГ, пируваткиназа «Reanal»; остальные реагенты производства «Реахим» квалификаций ч.д.а и х.ч.

Для приготовления гомогенатов образцы печени кур, хранившейся при – 80°C, размораживали и растирали в стеклянном гомогенизаторе в 5-ти объемах охлажденного до 4°C 50 мМ трис-HCl буфера (рН 7,5), содержащего 0,15 М KCl и 0,2 мМ ЭДТА. Экстракты готовили, центрифугируя гомогенат при 20000 g в течение 60 мин.

Активность ТПК определялась в реакционных смесях, описанных в работах Арцукевич с соавт. [5] и Fraccascia et al. [6]. В первом случае реакцию проводили 60 мин в 50 мМ трис-HCl, рН 8,0, и 50 мМ трис-малеатном, рН 5,2, буферах, содержавших 50 мкМ тиамин, 1 мМ АТФ, 10 мМ MgCl<sub>2</sub> и 50 мкл аликвоту экстракта, в общем объеме 0,2 мл. При применении метода [6] реакционная смесь включала 40 мМ Na-фосфатный буфер, рН 7,4, 8 мМ тиамин, 24 мМ АТФ, 8 мМ MgCl<sub>2</sub>, аликвоту экстракта и фосфатазные ингибиторы – 5 мМ NaF и 0,1 мМ ортованадат – в объеме 0,2 мл. После остановки реакции количество ТДФ выявляли ферментативным методом с помощью апопируватдекарбоксилазы из пивных дрожжей [7].

Активность ЩФ регистрировали по накоплению *п*-нитрофенола в результате гидролиза *п*-НФФ в реакционной среде объемом 0,1 мл, состоящей из 50 мМ трис-HCl, рН 10,0, 10 мМ MgSO<sub>4</sub>, 1 мМ субстрата и аликвоты исследуемого образца. Реакцию проводили 10–30 мин при 37°C, останавливали, добавляя по 1 мл 0,2 н. NaOH и фотометрировали при 405 нм. Концентрацию *п*-нитрофенола рассчитывали исходя из коэффициента молярного поглощения  $\varepsilon_{405}=18500$ .

Стандартная реакционная смесь для измерений скорости гидролиза ТДФ и ИДФ включала 50 мМ трис-HCl, рН 9,0, или трис-малеатный, рН 6,0, буфер, 5 мМ MgCl<sub>2</sub>, 1 мМ субстрат и образец белка в объеме 0,2 мл. Реакцию осуществляли 10–30 мин при 37°C, останавливали внесением 0,1 мл 15%-ной ТХУ, смесь центрифугировали (10 мин, 2500 об/мин) и отбирали на анализ аликвоты по 100 мкл. Количество P<sub>i</sub>, высвобождающегося в результате гидролиза субстрата, находили с помощью метода Lanzetta et al. [8].

За единицу (Е) ферментативной активности принимали количество, катализирующее образование 1 мкмоль продукта за 1 мин в условиях испытания.

Молекулярную массу ТДФазы определяли методом гель-фильтрации на колонке с тойоперлом HW-60 (Ø 1,6 × 40 см) в 20 мМ трис-HCl буфере, рН 7,4, содержащем 0,3 М NaCl при скорости потока 5 см/ч. Для построения калибровочного графика использовались белки-маркеры: цитохром с (12,4 кДа), овальбумин (45 кДа), БСА (67,5 кДа), ЛДГ (135 кДа), пируваткиназа (228 кДа) и ферритин (480 кДа). Объемы элюции (V<sub>e</sub>) белков выявляли по поглощению при 280 нм или ферментативной активности. Свободный объем (V<sub>0</sub>) колонки измеряли по объему элюции голубого декстрана. Значения M<sub>r</sub> рассчитывали в координатах lgM<sub>r</sub> – lgV<sub>e</sub>/V<sub>0</sub>.

В работе применялись информационные ресурсы Национального центра биотехнологической информации (NCBI, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>), Швейцарского института биоинформатики ([www.expasy.ch](http://www.expasy.ch)), Европейского института биоинформатики (EBI, [www.ebi.ac.uk](http://www.ebi.ac.uk)) и геномного браузера Ensembl ([www.ensembl.org](http://www.ensembl.org)). Поиск, обработку и анализ аминокислотных последовательностей проводили с помощью алгоритма BLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast>). Множественное выравнивание последовательностей осуществлялось программой BioEdit, v. 7.0.9.0.

Статистическую обработку данных и расчеты кинетических параметров проводили с помощью программы GraphPadPrism 5.0.

**Результаты и их обсуждение.** В эукариотных организмах и у многих прокариот ТДФ синтезируется из тиамина и АТФ в реакции, катализируемой ТПК:  $\text{АТФ} + \text{тиамин} \rightleftharpoons \text{ТДФ} + \text{АМФ}$ . Данный фермент был очищен и охарактеризован из различных биологических источников, включая ткани млекопитающих, растения, дрожжи и бактерии [1; 2]. ТПК млекопитающих представляет собой гомодимерный белок с  $M_r$  субъединицы 27 кДа. Эта олигомерная форма фермента способна агрегировать, образуя тетрамеры. В настоящее время установлены кристаллические структуры ТПК дрожжей, человека и мыши [9–11].

Исходя из мультиэкзонной структуры гена TPK1 ([www.ensembl.org](http://www.ensembl.org)), можно ожидать существования множественных форм ТПК, являющихся продуктами альтернативного сплайсинга. Действительно, экспрессия нескольких сплайс-вариантов ТПК как на уровне мРНК, так и на уровне белка была продемонстрирована в тканях и клеточных линиях радужной форели [12]. Известно, что ОРС кДНК ТПК человека и мыши кодируют белки из 243 аа, которые были экспрессированы в *E. coli* в виде функционально активных форм фермента. У курицы ТПК1, содержащий 8 экзонов и 7 интронов, расположен в хромосоме 2. Аминокислотная последовательность предсказанного варианта фермента курицы длиной 244 аа (GenBank accession no. XP\_015131384.1) на 73% идентична ТПК человека (NP\_071890.2) и мыши (NP\_038889.1).

Функциональные свойства куриной ТПК в настоящее время неизвестны. Для того чтобы получить информацию об активности этого фермента в экстракте из печени курицы, мы применили метод, предложенный ранее для измерений активности ТПК в печени крысы [5]. Ввиду того, что ТПК крысы проявляет рН-оптимумы в кислой и щелочной средах [5], реакцию проводили при рН 8,0 и рН 5,2. Достаточно неожиданным оказалось полное отсутствие синтеза ТДФ в принятых условиях испытания. Чтобы исключить гидролиз ТДФ под действием фосфатаз, которые, возможно, находятся в экстракте, нами была использована реакционная смесь, содержащая фосфатазные ингибиторы – NaF и ортованадат [6]. Однако и в этом случае зарегистрировать активность ТПК в экстракте из печени курицы не удалось, хотя в параллельных экспериментах синтез ТДФ наблюдался в образцах печени крысы при применении обоих методов, причем измеряемая активность соответствовала значениям, приводимым в литературе (27,8 нмоль/ч/г ткани, или 0,54 нмоль/ч/мг белка). Хорошо известно, что ТПК является растворимым белком, который локализован в цитозоле клеток млекопитающих, растений, простейших, грибов и бактерий [2]. Тем не менее мы также попытались определить активность этого фермента в гомогенате печени курицы, поскольку нельзя исключать возможности мембранной локализации ТПК у птиц. Но и в такой постановке эксперимента ТДФ-синтезирующая активность выявлена не была. Здесь следует сказать, что уровни экспрессии мРНК в печени крысы и курицы сопоставимы. По данным Merkin et al. [13], полученным с помощью RNA-Seq технологии, уровень экспрессии мРНК ТПК в печени цыпленка составляет 2 TPM. В то же время в печени крысы обозначенная величина равна 5 TPM (Expression Atlas, [www.ebi.ac.uk](http://www.ebi.ac.uk)). В связи с этим возникает ряд вопросов по поводу функциональности ТПК курицы.

Кристаллографические данные и результаты исследований по сайт-направленному мутагенезу ТПК человека и мыши позволили установить аминокислотные остатки, существенные для каталитической активности фермента [10; 11; 14]. Показано, что в узнавании, связывании и превращении субстрата важную роль играют остатки *Asn-25*, *Asp-46*, *Gly-47*, *Asp-71*, *Asp-73*, *Gln-96*, *Thr-99*, *Asp-100*, *Phe-101*, *Gly-127*, *Gly-129*, *Arg-131*, *Asp-133*, *Gln-134* и, возможно, *Lys-103* и *Glu-57*. Так как первичная структура куриного фермента предсказана по нуклеотидной последовательности его гена, можно попытаться сделать заключение о функциональной состоятельности ТПК курицы с помощью множественного выравнивания. Для этого мы сравнили аминокислотные последовательности ТПК пяти видов млекопитающих, у которых экспрессия каталитически активного белка установлена экспериментально, с предсказанной последовательностью (XP\_015131384.1) фермента курицы (рис. 1).



<i>M. musculus</i>	MEHAFTPLEPLPTGNLKYCLVVLNQPLDA~RFRHLWKALLRACADGGA
<i>H. sapiens</i>	MEHAFTPLEPLSTGNLKYCLVILNQPLDN~YFRHLWNKALLRACADGGA
<i>R. norvegicus</i>	MEHVFTPLEPLPTGDLKFCVLVNLQTLDP~HFRHLWRKALLRACADGGA
<i>B. taurus</i>	MEHAITPLDPLPSGSLKYCLVILNQPLDK~CFRHLWHKALLRACADGGA
<i>S. scrofa</i>	MEHAITPLDPLPSGSLKYCLVILNQPLDK~CFRHLWHKALLRACADGGA
<i>G. gallus</i>	MERVFTPLDCLLPAGNLKFCLLILNQPFDRGHFCLWSKAALRACADGGA 50
	** ** * * * * *
<i>M. musculus</i>	NHLYDLTEGERESFLPEFVSGDFDSIRPEVKEYYTKKGCGLISTPDQDHT
<i>H. sapiens</i>	NRLYDITEGERESFLPEFINGDFDSIRPEVREYYATKGCELISTPDQDHT
<i>R. norvegicus</i>	NHLYDLTEGERESFLPEFINGDFDSIRPEVKEYYTKKGCGLISTPDQDHT
<i>B. taurus</i>	NHLYDVTEGERESFLPEFISGDFDSIRPEVREHYAIGCEIISTPDQDHT
<i>S. scrofa</i>	NHLYDVTEGERESFLPEFISGDFDSIRPEVREHYAIGCEIISTPDQDHT
<i>G. gallus</i>	NRLYHITEGSQDSFLPDYISGDFDSIQPEVKAYYKAGCELIETMDQDFT 100
	* * * * * * * * * * * * * * * * *
<i>M. musculus</i>	DFTKCLQVLQKKEELQVDVIVTLGGLGRFDQIMASVNTLFQATHIT
<i>H. sapiens</i>	DFTKCLKMLQKKIEEKDLKVDVIVTLGGLAGRFQIMASVNTLFQATHIT
<i>R. norvegicus</i>	DFTKCLQVLQKKEELQVDVIVTLGGLGRFDQIMASVNTLFQATDII
<i>B. taurus</i>	DFTKCLEVLQKKIEEKDLQVDMIVTLGGLAGRFQIMASVNTLFQAPQIT
<i>S. scrofa</i>	DFTKCLEVLQKKIEEKDLQVDMIVTLGGLAGRFQIMASVNTLFQAPQIT
<i>G. gallus</i>	DFTKCLQILQKKIEEKGLQIDLIVTLGGLGRFDQTMASVETLFHATNIT 150
	***** * * * * * * * * * * * * * * *
<i>M. musculus</i>	PVPVPIIIQKDSLIYLLQPGKHLRHVDTGMEGSCGLIPVGQPCNQVTTTG
<i>H. sapiens</i>	PFPIIIIIQEEESLIYLLQPGKHLRHVDTGMEGDWCGLIPVGQPCMQVTTTG
<i>R. norvegicus</i>	PVPVPIIIQKESLIYLLQPGKHLRHVDTGMEGSCGLIPVGQPCNVTTTG
<i>B. taurus</i>	SLPVIIIQEEESLIYLLQPGKHLRHVDTGMEGDWCGLIPVGQPCNQVTTTG
<i>S. scrofa</i>	SLPVIIIQEEESLIYLLQPGKHLRHVDTGMEGDWCGLIPVGQPCNQVTTTG
<i>G. gallus</i>	PFPPVIVIQESSLIYLLQPGKHLQVNTGLEGSCGLIPIGSSCDSVTTTG 200
	* * * * * * * * * * * * * * * * *
<i>M. musculus</i>	LKWNLTNDVLAFTLVSTSNLYDGSVTVETDHPLLWTMAIKS
<i>H. sapiens</i>	LKWNLTNDVLGFTLVSTSNLYDGSGLVTVETDHPLLWTMAIKS
<i>R. norvegicus</i>	LKWNLTNDVLGFTLVSTSNLYDGSGLVTVETDHPLLWTMAIKT
<i>B. taurus</i>	LKWNLTQMLGFTLVSTSNLYDGSVTVETDHPLLWTMAIKN
<i>S. scrofa</i>	LKWNLTQMLGFTLVSTSNLYDGSVTVETDHPLLWTMAIKN
<i>G. gallus</i>	LRWNLANQVLKFTLVSTSNLYDGSVTVETDHPLLWTMAIKL 244
	* * * * * * * * * * * * * * * * *

Рис. 1. Множественное выравнивание аминокислотных последовательностей пяти видов млекопитающих (мыши, человека, крысы, быка, свиньи) и курицы. Аминокислотные остатки в молекулах ТПК человека и мыши, существенность которых для каталитической активности фермента следует из результатов рентгеноструктурного анализа и сайт-специфического мутагенеза [10; 11; 14], выделены полужирным курсивом и подчеркнуты

Как видно на рис. 1, все остатки, существенные для каталитической активности ТПК человека и мыши, консервативны среди сравниваемых последовательностей. Единственным исключением является остаток 129, который, как полагают, участвует в гидрофобных контактах с адениновым кольцом молекулы АТФ. Эта позиция, очевидно, может быть занята либо *Gly*, либо *Ala*. Таким образом, нет никаких оснований полагать, что ТПК курицы, по крайней мере ее 244 ао вариант, каталитически неэффективна. Причина отсутствия активности ТПК в печени курицы остается неясной. Возможно, это связано с экспрессией другого сплайс-варианта фермента, обладающего специфическими функциональными свойствами.

В процессе внутриклеточного метаболизма витамина  $B_1$  ТДФ подвергается гидролизу под действием фосфатаз(ы). По данным S. Sano et al. [3; 4] в катаболизме ТДФ у крыс могут участвовать две мембранно-ассоциированные НДФазы, обозначаемые НДФаза типа В (мозг) и НДФаза типа L (печень). Хотя оба фермента были получены в гомогенном виде, НДФаза L-типа – из печени быка [15], а НДФаза В-типа – из головного мозга крысы [3], информации об их первичной структуре в базах данных белковых и нуклеотидных последовательностей нет. В связи с этим ответить на вопрос, существуют ли указанные ферменты в организме кур, используя методы биоинформатики, не представляется возможным. С целью общей характеристики катаболизма ТДФ у кур мы провели исследование свойств ТДФазной активности в печени.

Прежде всего, было изучено влияние pH на скорость гидролиза ТДФ в гомогенате печени в присутствии 5 мМ  $Mg^{2+}$ . Как показано на рис. 2А, ТДФазная активность регистрируется в широком диапазоне концентраций ионов водорода, при этом на графике имеются два максимума, соответствующих

значениям pH 6,0–6,5 и ~ 9,5. Подобный pH-профиль может означать наличие в печени курицы по меньшей мере двух фосфатаз, сильно различающихся по требованиям к кислотности реакционной среды. После центрифугирования гомогената при 20000 g в течение 60 мин основная масса ферментативной активности, как при pH 6,0, так и при pH 9,0, обнаруживалась в осадке (рис. 2Б), что указывает на участие в гидролизе ТДФ мембранно-ассоциированных фосфатаз. Небольшое количество (~ 5% от общего содержания в гомогенате) ТДФазной активности, наблюдаемое во фракции супернатанта при pH 6,0, очевидно, объясняется присутствием в нем неосажденных фрагментов мембран. С другой стороны, относительно высокое (~ 23%) содержание в надосадочной жидкости ТДФазной активности, измеренной при pH 9,0, может свидетельствовать о том, что в печени курицы наряду с мембранно-ассоциированными фосфатазами экспрессируется растворимый фермент, способный с заметной скоростью осуществлять гидролиз ТДФ в щелочных условиях.

Скорость гидролиза ТДФ при pH 6,0 и 9,0 в мембранной фракции гомогената печени курицы так же, как и при pH 9,0 в экстракте, сильно увеличивалась под действием ионов  $Mg^{2+}$  (рис. 2В). Этого и следовало ожидать, поскольку общим свойством всех описанных до настоящего времени ферментов (кроме неспецифичных кислой и щелочной фосфатаз), субстратом которых может служить ТДФ, является их зависимость от катионов двухвалентных металлов [3; 15–17]. Что же касается достаточно высокой  $Mg^{2+}$ -независимой ТДФазной активности в осадке при pH 9,0, то она, по-видимому, обусловлена действием ЩФ, которой, как было установлено Eaton & Moss [18], для гидролиза ТДФ двухвалентные катионы не нужны. Более того, в присутствии 10 мМ  $Mg^{2+}$  скорость дефосфорилирования ТДФ ЩФ из печени и кишечника человека несколько снижалась [18]. О том, что в щелочной среде ТДФазная активность гомогената печени курицы на самом деле, хотя бы частично, определяется работой ЩФ, свидетельствуют результаты экспериментов с левамизолом – специфичным ингибитором этого фермента. Ранее в экспериментах *in vitro* было продемонстрировано, что ТДФ является субстратом ЩФ из кишечника теленка [19], печени и кишечника человека [18].

На рисунке 2Г представлены результаты экспериментов по влиянию 1 мМ левамизола на ТДФазную и *л*-НДФазную активности гомогената печени курицы. Как видно, степень ингибирования левамизолом ТДФазной активности составила 24%, тогда как скорость гидролиза *л*-НДФФ снижалась на 65%. Полученные результаты хорошо согласуются с данными Ogawa et al. [20], согласно которым при pH 9,0 левамизол в концентрации 2,5 мМ уменьшал ТДФазную активность гомогената печени мыши на 25%. С другой стороны, Delomenède et al. [21] показали, что 1 мМ левамизол при pH 10,5 ингибирует ЩФ куриных эмбрионов на 63%. Из всего сказанного следует, что вклад ЩФ в гидролиз ТДФ в гомогенатах печени курицы при щелочных pH не является определяющим. По большей части эта «щелочная» ТДФазная активность, вероятно, обусловлена действием микросомальной НДФазы L-типа. Следует также сказать, что ЩФ является экто-нуклеотидазой, поэтому ее участие во внутриклеточном метаболизме ТДФ исключено.

НДФаза В-типа, впервые очищенная из головного мозга крысы S. Sano et al. в 1988 г. [3], еще долго до этого применялась в качестве гистохимического маркера аппарата Гольджи [22]. Фермент из мозга крысы имеет  $M_r$  75 кДа (по данным денатурирующего электрофореза в ПААГ) и с сопоставимыми скоростями катализирует гидролиз ТДФ и различных нуклеозиддифосфатов [3; 4]. В присутствии катионов  $Mg^{2+}$  и с ТДФ в качестве субстрата НДФаза В-типа проявляет активность в широком диапазоне значений водородного показателя с выраженным максимумом при pH 6,0–6,5. Исходя из того, что у млекопитающих НДФаза В-типа экспрессируется не только в головном мозге, но и в печени [23], можно предположить, что эта же фосфатаза катализирует гидролиз ТДФ и в гомогенате печени кур. В данном отношении следует отметить, что, аналогично ТДФазе, ИДФазная активность гомогената куриной печени проявляла pH-оптимум при pH 6,0–6,5 (рис. 2Д).

Кинетические исследования показали, что гидролиз ТДФ в гомогенате печени курицы как при pH 6,0, так и при pH 9,0 подчиняется кинетике Михаэлиса–Ментен. Величины кажущихся  $K_m$  для ТДФ при фиксированной концентрации катионов  $Mg^{2+}$  5 мМ, рассчитанные методом нелинейной регрессии, составили  $2,31 \pm 0,32$  мМ (pH 6,0;  $n = 5$ ) и  $1,80 \pm 0,37$  мМ (pH 9,0;  $n = 5$ ). Трансформация в координатах Хейнса в обоих случаях дает прямые, которые отсекают на оси абсцисс отрезки, соответствующие значениям  $K_m$   $2,28 \pm 0,40$  мМ (pH 6,0) и  $1,58 \pm 0,39$  мМ (pH 9,0) (рис. 2Е). Для сравнения, величины кажущихся  $K_m$  описанных в литературе ферментов с ТДФазной активностью из других биологических

источников составляют: НДФазы В-типа из головного мозга крысы – 0,66–2 мМ [3; 4], НДФазы L-типа из печени крысы – 17 мМ [4], НДФазы из микросом печени быка – 20,7 мМ [15], ТДФазы из головного мозга овцы – 1,33 мМ [17], ТДФазы из головного мозга кролика – 1,2 мМ [16], ЩФ из тонкого кишечника и печени человека – соответственно 1,2 мМ и 6,3 мМ [18], ЩФ из тонкого кишечника теленка – 0,3 мМ [19].

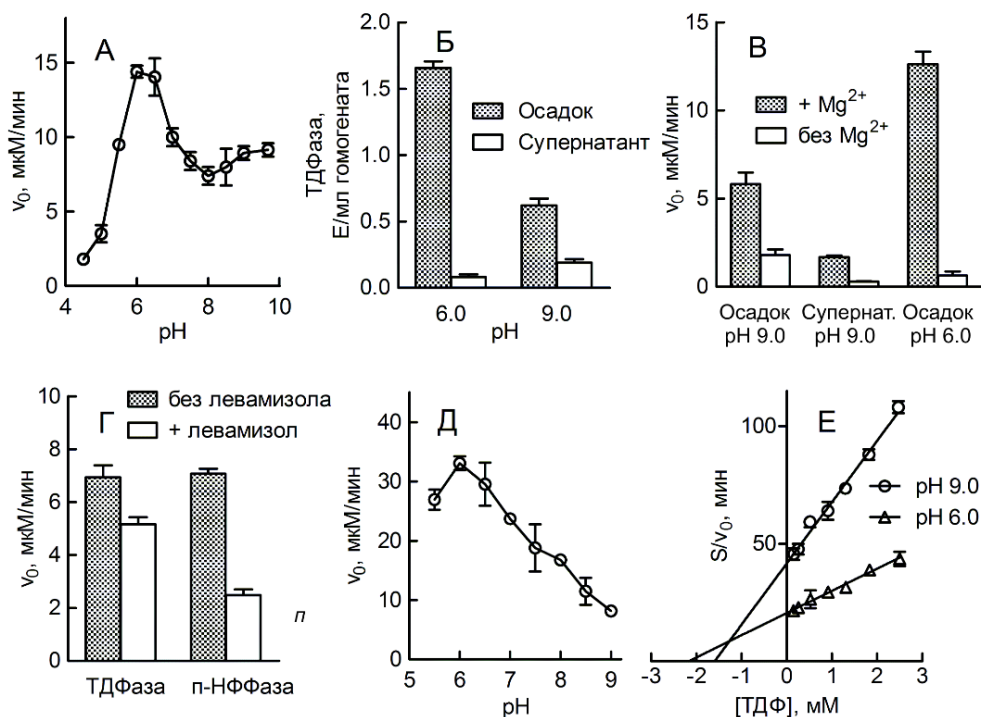


Рис. 2. А. Влияние pH на начальную скорость гидролиза ТДФ в гомогенате печени курицы. Б. Распределение активности ТДФазы между растворимой и мембранной фракциями гомогената печени курицы. В. Влияние ионов  $\text{Mg}^{2+}$  на скорость гидролиза ТДФ в мембранной и растворимой фракциях гомогената печени курицы. Г. Влияние 1 мМ левамизола на скорость гидролиза ТДФ и п-НФФ в гомогенате печени курицы при pH 9,0. Д. pH-зависимость гидролиза ИДФ в гомогенате печени курицы. Е. Линеаризованная в координатах Хейнса зависимость начальной скорости реакции гидролиза ТДФ в гомогенате печени курицы

При хроматографии супернатанта на калиброванной белками-стандартами колонке с тойоперлом HW-55 элюировался пик «щелочной» ТДФазной активности, соответствующий белку с  $M_r$   $135,2 \pm 10,3$  кДа ( $n = 2$ , рис. 3). Необходимо отметить, что скорость гидролиза ИДФ при pH 9,0 во фракциях этого пика значительно превышала скорость ТДФазной реакции (данные не представлены). В то же время при pH 6,0 ТДФазная активность не наблюдалась по всему профилю элюции, за исключением фракций свободного объема колонки ( $M_r > 700$  кДа), содержащих белковые агрегаты и очень мелкие фрагменты мембран. При pH 6,0 активность ТДФазы в пиковой фракции свободного объема составляла 6,2–7,8 мЕ/мл; в этом же объеме выходил небольшой пик ТДФазной активности, измеряемой при pH 9,0. Таким образом, гидролиз ТДФ, который наблюдается в экстракте из печени курицы в щелочной среде, обусловлен действием растворимой НДФазы неизвестной природы. Скорее всего, эта НДФаза гомологична микросомальному ферменту, очищенному ранее из печени быка, крысы и свиньи [15; 24; 25]. Действительно, Yamazaki & Hayashi [16] было установлено, что фермент микросом слабо связан с мембранами и частично экстрагируется буферными растворами даже при слабощелочных pH. Как показали Ohkubo et al. [25], микросомальная НДФаза из печени крысы представляет собой белок с  $M_r$  130 кДа, построенный из двух субъединиц ( $M_r = 65$  кДа).

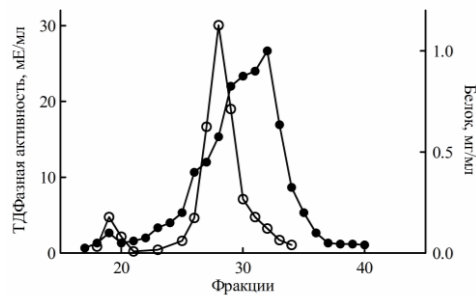


Рис. 3. Хроматография экстракта из печени курицы на колонке с тойоперлом HW-55, ● – концентрация белка, ○ – ферментативная активность при pH 9,0

**Заключение.** По результатам настоящей работы можно сделать следующие выводы:

- с помощью методов, применявшихся в исследованиях ТПК из печени крысы и других биологических объектов, активность фермента в печени курицы не выявляется. Сравнение предсказанной аминокислотной последовательности 244 ао сплайс-варианта куриной ТПК (XP\_015131384.1) с первичными структурами ТПК пяти видов млекопитающих указывает на то, что фермент курицы должен обладать функциональной активностью, так как содержит консервативные аминокислотные остатки, существенные для каталитической активности ТПК млекопитающих. Для выяснения причин отсутствия активности ТПК в печени курицы необходимы дальнейшие исследования;
- гидролиз ТДФ в гомогенате печени курицы протекает в широком диапазоне pH, при этом наблюдаются два оптимума активности – в кислой среде при pH 6,0–6,5 и в щелочной среде при pH ~ 9,5;
- ТДФазная активность гомогената, регистрируемая в щелочных условиях, обусловлена действием, по меньшей мере, двух мембранно-ассоциированных ферментов –  $Mg^{2+}$ -независимой ЩФ и  $Mg^{2+}$ -зависимой фосфатазы, вероятно, представляющей собой НДФазу L-типа;
- при кислых pH гидролиз ТДФ в гомогенате печени курицы катализируется мембранно-ассоциированным  $Mg^{2+}$ -зависимым белком, возможно, НДФазой B-типа.

#### Перечень принятых обозначений и сокращений

АТФ – аденозинтрифосфат, ИДФ – инозиндифосфат, ИДФаза – инозиндифосфатаза, ЛДГ – лактатдегидрогеназа, НДФаза – нуклеозиддифосфатаза, ТМФ – тиаминмонофосфат, ТДФ – тиаминдифосфат, ТДФаза – тиаминдифосфатаза, ТПК – тиаминпирофосфокиназа, ТТФ – тиаминтрифосфат, ЩФ – щелочная фосфатаза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Makarchikov, A.F. Vitamin B1: metabolism and functions / A.F. Makarchikov // Biochemistry (Moscow) Suppl. Ser. B: Biomedical Chemistry. – 2009. – Vol. 3(2). – P. 116–128.
2. Воскобоев, А.И. Биосинтез, деградация и транспорт фосфорных эфиров тиамин / А.И. Воскобоев, И.П. Черникович. – Минск: Наука и техника, 1987. – 200 с.
3. Sano, S. Type B nucleoside diphosphatase of rat brain. Purification and properties of an enzyme with high thiamin pyrophosphatase activity / S. Sano, Y. Matsuda, H. Nakagawa // Eur. J. Biochem. – 1988. – Vol. 171. – P. 231–236.
4. Thiamine pyrophosphatase and nucleoside diphosphatase in rat brain / S. Sano [et al.] // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 1984. – Vol. 118. – P. 292–298.
5. Арцукевич, И.М. Очистка и некоторые свойства тиаминпирофосфокиназы из печени крыс / И.М. Арцукевич, А.И. Воскобоев, Ю.М. Островский // Вопр. мед. химии. – 1977. – Т. 23. – С. 203–210.
6. Presence of thiamine pyrophosphate in mammalian peroxisomes / P. Fraccascia [et al.] // BMC Biochem. – 2007. – Vol. 8:10.
7. Ферментативный микрометод количественного определения тиаминдифосфата в биологических жидкостях / И.П. Черникович [с соавт.] // Прикл. биохим. микробиол. – 1991. – Т. 27, вып. 5. – С. 65–68.
8. Lanzetta, P.A. An improved assay for nanomole amounts of inorganic phosphate / P.A. Lanzetta [et al.] // Anal. Biochem. – 1979. – Vol. 100. – P. 95–97.
9. Crystal structure of human thiamin pyrophosphokinase 1 [Electronic resource] / L. Shen [et al.]. – Mode of access: <http://www.ebi.ac.uk/pdbe/entry/pdb/354Y>. – Date of access: 13.07.2018.
10. Crystal structure of thiamin pyrophosphokinase / D.E. Timm [et al.] // J. Mol. Biol. – 2001. – Vol. 310. – P. 195–204.
11. Liu, J.-Y. A new crystal form of mouse thiamin pyrophosphokinase / J.-Y. Liu, T.D. Hurley // Int. J. Biochem. Mol. Biol. – 2011. – Vol. 2. – P. 111–118.
12. Identification of the thiamin pyrophosphokinase gene in rainbow trout: characteristic structure and expression of seven splice variants in tissues and cell lines and during embryo development / S. Yuge [et al.] // Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol. – 2012. – Vol. 163. – P. 193–202.

13. Evolutionary dynamics of gene and isoform regulation in mammalian tissues / J. Merkin [et al.] // *Science*. – 2012. – Vol. 338(6114). – P. 1593–1599.
14. Onozuka, M. Steady-state kinetics and mutational studies of recombinant human thiamin pyrophosphokinase / M. Onozuka, K. Nosaka // *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*. – 2003. – Vol. 49. – P. 156–162.
15. Yamazaki, M. Allosteric properties of nucleoside diphosphatase and its identity with thiamine pyrophosphatase / M. Yamazaki, R. Hayashi // *J. Biol. Chem.* – 1968. – Vol. 243. – P. 2934–2942.
16. Cooper, J.R. The partial purification and characterization of thiamine pyrophosphatase from rabbit brain / J.R. Cooper, M.M. Kini // *J. Neurochem.* – 1972. – Vol. 19. – P. 1809–1811.
17. Shetty, K.T. Thiamine pyrophosphatase in brain. Partial purification, regional distribution and ontogeny / K.T. Shetty, Veeranna // *Neurochem. Int.* – 1991. – Vol. 19. – P. 33–37.
18. Eaton, R.H. Organic pyrophosphates as substrates for human alkaline phosphatases / R.H. Eaton, D.W. Moss // *Biochem. J.* – 1967. – Vol. 105. – P. 1307–1312.
19. Вовк, А.И. Относительная реакционная способность тиаминмонофосфата и тиаминдифосфата при взаимодействии со щелочной фосфатазой / А.И. Вовк, Л.В. Бабий, И.В. Муравьева // *Укр. биохим. журн.* – 2002. – Т. 74, № 1. – С. 93–96.
20. Ogawa, K. Recent findings on ultracytochemistry of thiamin phosphatases / K. Ogawa, M. Sakai, K. Inomata // *Ann. NY Acad. Sci.* – 1982. – Vol. 378. – P. 188–214.
21. Delomenède, M. Lansoprazole is an uncompetitive inhibitor of tissue-nonspecific alkaline phosphatase / M. Delomenède, R. Buchet, S. Mebarek // *Acta Biochim. Pol.* – 2009. – Vol. 56. – P. 301–305.
22. Goldfischer, S. Nucleoside diphosphatase and thiamine pyrophosphatase activities in the endoplasmic reticulum and Golgi apparatus / S. Goldfischer, E. Essner, B. Schiller // *J. Histochem. Cytochem.* – 1971. – Vol. 19. – P. 349–360.
23. Sano, S. Thiamine pyrophosphatase (nucleoside diphosphatase) in the Golgi apparatus is distinct from microsomal nucleoside diphosphatase / S. Sano, Y. Matsuda, H. Nakagawa // *J. Biochem.* – 1988. – Vol. 103. – P. 678–681.
24. Pinsley, C.L. Nucleoside diphosphatase from pig liver: purification and some properties / C.L. Pinsley, M.C. Scrutton // *Arch. Biochem. Biophys.* – 1973. – Vol. 158. – P. 331–345.
25. Purification and characterization of nucleoside diphosphatase from rat-liver microsomes. Evidence for metalloenzyme and glycoprotein / I. Ohkubo [et al.] // *Eur. J. Biochem.* – 1980. – Vol. 112. – P. 111–118.

## REFERENCES

1. Makarchikov, A.F. Vitamin B1: metabolism and functions / A.F. Makarchikov // *Biochemistry (Moscow) Suppl. Ser. B: Biomedical Chemistry*. – 2009. – Vol. 3(2). – P. 116–128.
2. Voskoboyev A.I., Chernikevich I.P. *Biosintez, degradatsiya i transport fosfornykh efirov tiamina* [Biosynthesis, Degradation and Transport of Thiamine Phosphoric Esters], Minsk, Nauka and Tekhnika, 1987, 200 p.
3. Sano, S. Type B nucleoside-diphosphatase of rat brain. Purification and properties of an enzyme with high thiamin pyrophosphatase activity / S. Sano, Y. Matsuda, H. Nakagawa // *Eur. J. Biochem.* – 1988. – Vol. 171. – P. 231–236.
4. Thiamine pyrophosphatase and nucleoside diphosphatase in rat brain / S. Sano [et al.] // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* – 1984. – Vol. 118. – P. 292–298.
5. Artsukevich I.M., Voskoboyev A.I., Ostrovsky Yu.M. *Vopr. Med. Khim.* [Issues of Medical Chemistry], 1977, 23, pp. 203–210.
6. Presence of thiamine pyrophosphate in mammalian peroxisomes / P. Fraccascia [et al.] // *BMC Biochem.* – 2007. – Vol. 8:10.
7. Chernikevich I.P. *Prikl. Biokhim. Mikrobiol.* [Applied Biochemistry Microbiology], 1991, 27(5), pp. 65–68.
8. Lanzetta, P.A. An improved assay for nanomole amounts of inorganic phosphate / P.A. Lanzetta [et al.] // *Anal. Biochem.* – 1979. – Vol. 100. – P. 95–97.
9. Crystal structure of human thiamin pyrophosphokinase 1 [Electronic resource] / L. Shen [et al.] – Mode of access: <http://www.ebi.ac.uk/pdbe/entry/pdb/354Y>. – Date of access: 13.07.2018.
10. Crystal structure of thiamin pyrophosphokinase / D.E. Timm [et al.] // *J. Mol. Biol.* – 2001. – Vol. 310. – P. 195–204.
11. Liu, J.-Y. A new crystal form of mouse thiamin pyrophosphokinase / J.-Y. Liu, T.D. Hurley // *Int. J. Biochem. Mol. Biol.* – 2011. – Vol. 2. – P. 111–118.
12. Identification of the thiamin pyrophosphokinase gene in rainbow trout: characteristic structure and expression of seven splice variants in tissues and cell lines and during embryo development / S. Yuge [et al.] // *Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol.* – 2012. – Vol. 163. – P. 193–202.
13. Evolutionary dynamics of gene and isoform regulation in mammalian tissues / J. Merkin [et al.] // *Science*. – 2012. – Vol. 338(6114). – P. 1593–1599.
14. Onozuka, M. Steady-state kinetics and mutational studies of recombinant human thiamin pyrophosphokinase / M. Onozuka, K. Nosaka // *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*. – 2003. – Vol. 49. – P. 156–162.
15. Yamazaki, M. Allosteric properties of nucleoside diphosphatase and its identity with thiamine pyrophosphatase / M. Yamazaki, R. Hayashi // *J. Biol. Chem.* – 1968. – Vol. 243. – P. 2934–2942.
16. Cooper, J.R. The partial purification and characterization of thiamine pyrophosphatase from rabbit brain / J.R. Cooper, M.M. Kini // *J. Neurochem.* – 1972. – Vol. 19. – P. 1809–1811.
17. Shetty, K.T. Thiamine pyrophosphatase in brain. Partial purification, regional distribution and ontogeny / K.T. Shetty, Veeranna // *Neurochem. Int.* – 1991. – Vol. 19. – P. 33–37.
18. Eaton, R.H. Organic pyrophosphates as substrates for human alkaline phosphatases / R.H. Eaton, D.W. Moss // *Biochem. J.* – 1967. – Vol. 105. – P. 1307–1312.
19. Vovk A.I., Babyi L.V., Muravyeva I.V. *Ukr. Biochem. J.* [Ukraine Biochemistry Journal], 2002, 74 (1), pp. 93–96.
20. Ogawa, K. Recent findings on ultracytochemistry of thiamin phosphatases / K. Ogawa, M. Sakai, K. Inomata // *Ann. NY Acad. Sci.* – 1982. – Vol. 378. – P. 188–214.
21. Delomenède, M. Lansoprazole is an uncompetitive inhibitor of tissue-nonspecific alkaline phosphatase / M. Delomenède, R. Buchet, S. Mebarek // *Acta Biochim. Pol.* – 2009. – Vol. 56. – P. 301–305.
22. Goldfischer, S. Nucleoside diphosphatase and thiamine pyrophosphatase activities in the endoplasmic reticulum and Golgi apparatus / S. Goldfischer, E. Essner, B. Schiller // *J. Histochem. Cytochem.* – 1971. – Vol. 19. – P. 349–360.
23. Sano, S. Thiamine pyrophosphatase (nucleoside diphosphatase) in the Golgi apparatus is distinct from microsomal nucleoside diphosphatase / S. Sano, Y. Matsuda, H. Nakagawa // *J. Biochem.* – 1988. – Vol. 103. – P. 678–681.
24. Pinsley, C.L. Nucleoside diphosphatase from pig liver: purification and some properties / C.L. Pinsley, M.C. Scrutton // *Arch. Biochem. Biophys.* – 1973. – Vol. 158. – P. 331–345.
25. Purification and characterization of nucleoside diphosphatase from rat-liver microsomes. Evidence for metalloenzyme and glycoprotein / I. Ohkubo [et al.] // *Eur. J. Biochem.* – 1980. – Vol. 112. – P. 111–118.

Поступила в редакцию 21.11.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: kolosik\_2210@mail.ru – Колос И.К.

УДК 598.243.1:574.3:631.111(476)

# ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГНЕЗДОВЫХ КОЛОНИЙ ЧИБИСА (*VANELLUS VANELLUS*) НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БЕЛАРУСИ

А.М. Кузьменкова

Белорусский государственный университет

Чибис – один из самых обычных видов куликов, которые гнездятся на сельскохозяйственных землях в Беларуси. Для нашей страны этот вид птиц традиционен, тогда как в Европе чибис находится под охраной из-за значительного снижения численности вида.

Цель статьи – изучить особенности пространственных характеристик гнездовых колоний чибиса на сельскохозяйственных полях Центральной Беларуси, а также влияние сельскохозяйственных практик на эти характеристики.

**Материал и методы.** В работе описываются особенности пространственных характеристик гнездовых колоний чибиса на сельскохозяйственных полях. Исследование проводилось на пробных площадках Минской области. Все пробные площадки представляют собой типичные сельхозугодья с чередованием сенокосов с пропашными культурами. Учеты чибиса проводились с апреля до середины июня.

**Результаты и их обсуждение.** Чибис предпочитает гнездиться на полях с яровыми культурами, избегая озимых, которые оказываются слишком высокими и густыми для него. В случае вымокания части озимых при сходе снега в этих местах чибис может устраивать гнезда. Площадь колоний чибиса варьировала от 22 до 167 га. Наблюдалось перекрытие колоний различных сезонов при условии отсутствия смены яровых культур на озимые. При смене культур колония смещалась с таких участков.

**Заключение.** На размещение колоний чибиса и их пространственные характеристики оказывают серьезное влияние сельскохозяйственные работы, в том числе севообороты. При смене типа засеваемых культур происходят смещения колоний в пространстве. При постоянном использовании яровых культур чибис придерживается стабильных участков при устройстве гнезд.

**Ключевые слова:** чибис, сельскохозяйственные поля, кулики, ржанкообразные.

# FEATURES OF SPACE CHARACTERISTICS OF NEST COLONIES OF LAPWING (*VANELLUS VANELLUS*) ON AGRICULTURAL FIELDS OF CENTRAL BELARUS

A.M. Kuzmenkova

Belarusian State University

Lapwing is one of the most common species of waders, which nest on agricultural land in Belarus. In our country, this species of birds is common, while in Europe the Lapwing is protected because of a significant decline in the number of the species.

The research purpose is to study the features of the spatial characteristics of breeding colonies of Lapwing in the agricultural fields of central Belarus, as well as the impact of agricultural practices on these characteristics.

**Material and methods.** Our study describes the features of the spatial characteristics of the breeding colonies of Lapwing, specifically on agricultural fields. The study is conducted on test plots in Central Belarus. All test plots are typical farmland, alternating hayfields with tilled crops. Counts of Lapwing were conducted from April to mid-June.

**Findings and their discussion.** The Lapwing prefers to nest in fields with spring crops, avoiding winter crops that are too tall and thick for him. In the case of soaking of winter crops when snow melts, the Lapwing can make nests in such places. The area of the nesting colonies of Lapwing vary from 22 to 167 hectares. Overlapping of colonies of different seasons was observed, but in case if there was no change of spring crops to winter crops. When cultures were changing, the colony shifted from such sites.

**Conclusion.** The placement of colonies of Lapwing and their spatial characteristics are seriously influenced by agricultural work, including crop rotations. In cases when on the fields grow summer crops Lapwing stay at the same places from year to year, but when winter crops replace summer crops colonies of Lapwing are shifting.

**Key words:** Lapwing, agricultural lands, waders, lapwing, charadriiformes.

**В** условиях интенсивно возделываемых агроландшафтов Центральной Беларуси чибис является характерным представителем отряда Ржанкообразные, который местами формирует достаточно многочисленные гнездовые колонии. Регулярное проведение механизированной сельскохозяйственной обработки земель на этих участках, с одной стороны, способствует поддержанию пригодных для гнездования вида открытых площадей, поскольку препятствует зарастанию территории древесно-кустарниковой растительностью. Однако, с другой стороны, во время проведения подобных работ под колесами техники регулярно гибнут как кладки, так и нелетные птенцы наземногнездящихся видов птиц, и в первую очередь чибиса как наиболее массового из них.

Для естественных мест гнездования чибиса (открытые болота различных типов, заливные луга в поймах рек и озер) характерна хорошо выраженная сезонная динамика уровня воды, которая во многих случаях как определяет возможность гнездования чибиса, так и служит причиной гибели кладок при повторяющихся паводках. Мелиоративные мероприятия на сельскохозяйственных землях в значительной степени обеспечивают стабильность гидрорежима территории, что снижает зависимость наземногнездящихся ржанкообразных птиц от паводковых явлений, что в свою очередь отражается и на характере пространственного распределения колоний на возделываемых полях. В то же время сельхозугодья сохраняют известную степень мозаичности территории, которая может оказывать влияние на распределение обитающих здесь видов птиц. Это в первую очередь фаза севооборота на конкретном поле в текущем биологическом году, а также наличие мелиоративных каналов, мелкоконтурных перелесков и невозделываемых участков земли.

В Беларуси чибис не имеет специального охранного статуса. В то же время он внесен в Красный список птиц Европы с категорией «уязвимый вид» [1]. В Европе численность чибиса снижается, к причинам этого относят в первую очередь интенсивное сельское хозяйство, которое характеризуется большими площадями монокультур (в основном озимых культур) и активным выпасом скота. Во многих странах Европы, таких как Нидерланды, Бельгия, Англия, Чехия и др., внедряются специальные агроэкологические схемы (agri-environment schemes, AES), направленные на создание среди сельскохозяйственных полей участков, свободных от засеивания, где могли бы гнездиться птицы. Подобные схемы предполагают компенсацию фермерам в финансовом отношении каких-либо потерь доходов, связанную с мерами, которые направлены на благо окружающей среды и биоразнообразия. В связи с общеевропейскими тенденциями снижения численности данного вида [2–4] исследование разных аспектов его репродуктивного цикла в нашей стране, в особенности на сильно нарушенных местах обитания, таких как сельскохозяйственные земли, весьма актуально в целях выработки обоснованных подходов для сохранения устойчивой национальной гнездовой группировки.

Цель статьи – изучить особенности пространственных характеристик гнездовых колоний чибиса на сельскохозяйственных полях Центральной Беларуси, а также влияние сельскохозяйственных практик на эти характеристики.

**Материал и методы.** Исследование пространственных характеристик гнездовых колоний чибиса проведено в 2016–2017 годах на территории пробных площадок в Минской области. Названия модельных площадок соответствуют названиям близлежащих населенных пунктов, а именно: Загорье в Червенском районе (53°45' с.ш., 27°56' в.д.), Пятигорье (53°41' с.ш., 27°14' в.д.) и Клыповщина (59°38' с.ш., 27°06' в.д.) в Дзержинском районе.

Все исследуемые площадки достаточно мозаичны и сочетают в себе как регулярно перепашиваемые поля с озимыми и яровыми культурами, так и обширные сенокосные луга. Располагаются они на равнинной местности с незначительными перепадами высот и пронизаны густой сетью мелиоративных каналов. Лесистость территории менее 10%. Дорожная сеть в пределах площадок развита слабо.

Для сельского хозяйства региона и исследуемых площадок в частности в первую очередь характерно выращивание зерновых культур (яровой ячмень, рожь, кукуруза и др.), а также поддержание многолетних сенокосов. Сенокосные луга составляют порядка 40–70% от общей площади изучаемых территорий. Севооборот на пахотных площадях реализован в виде практически ежегодной смены зерновых культур. Участки, засеянные зерновыми культурами, мозаично чередуются с сенокосами. Территории пробных площадок подвергаются регулярной обработке сельскохозяйственной техникой. Наиболее интенсивно сельскохозяйственные работы ведутся на участках, засеянных пропашными культурами, что предполагает выход техники на поля, в том числе и в период гнездования чибиса – апрель-май. Как правило, на таких участках техника



выходит на поля 3–5 раз в течение гнездового сезона чибиса. Подобные выходы связаны с различными сельскохозяйственными работами: культивацией, посевом культур, обработкой гербицидами и фитонцидами, внесением удобрений. Сенокосы характеризуются меньшей частотой выхода техники на поля, обычно это ранневесенняя подкормка и непосредственно сенокошение.

Учет территориальных пар чибиса проведен на пробных площадках в апреле-мае 2016 и 2017 годов. Начиная с первой декады апреля с перерывом в одну-полторы недели ежегодно отработано по шесть маршрутов в пределах выбранных площадок протяженностью порядка 6–7 км каждый. Территориальная пара регистрировалась в случаях (1) наблюдения токующего самца, (2) активной защиты территории от хищников (серая ворона, ворон, хищные птицы, чайки, лиса), (3) сильного беспокойства птиц при появлении учетчика, а также (4) при непосредственном нахождении гнезда. Для анализа пространственной структуры гнездовой колонии фиксировались географические координаты центра активности каждой отмеченной территориальной пары либо координаты гнезда при его обнаружении. Компьютерная обработка полученных пространственных данных проведена при помощи пакета Ranges V с учетом рекомендаций [5]. Для расчета площадей колоний мы использовали 95% территориальных пар, чтобы избежать значительного увеличения площади колонии, на основе незначительного числа (чаще всего одной) предполагаемых территориальных пар, расположенных в удалении от основной группировки птиц.

**Результаты и их обсуждение.** Площадка «Пятигорье». Гнездовая колония чибиса на данной территории в 2016–2017 гг. занимала небольшую площадь относительно общего размера всей площадки. Участок, на котором гнездились абсолютное большинство территориальных пар, засеивался яровыми культурами: в 2016 году кукурузой и картофелем, а в 2017 году яровым ячменем и однолетними травами. Участок с колонией граничил с сенокосом, который, несмотря на, казалось бы, подходящие условия для гнездования, практически не использовался чибисом для устройства гнезд (рис. 1). В литературе встречаются данные о предпочтении чибисом территорий с яровыми культурами в связи с тем, что такие участки характеризуются большей степенью открытости, особенно в начале сезона гнездования чибиса, когда яровые культуры только начинают всходить. Озимые культуры к моменту начала гнездования обычно оказываются слишком густыми и высокими для устройства гнезд чибисом [4].



Рис. 1. Форма и относительные размеры гнездовой колонии чибиса в 2016–2017 гг., построенные методом выпуклого многоугольника, включающего 95% территориальных пар. Черным контуром показана граница колонии в 2016 году, черные кружки отражают распределение территориальных пар. Серый контур и серые кружки – то же для 2017 года

Площадь колонии, оцененная методом выпуклого многоугольника, включающего 95% территориальных пар, в 2016 году составила 58 га, а в 2017 году – 118 га, при максимальных линейных размерах в 1394 и 1418 м соответственно (рис. 1). Это 18–37% территории всей исследуемой площадки.

Размер колонии в 2017 году увеличился, что соответствует изменению количества гнездящихся пар: в 2016 году на площадке насчитывалось 13 пар, тогда как в 2017 году – 25 пар. Существенного смещения колонии в пространстве в разные сезоны исследований не происходило. В 2016–2017 гг. территориальные пары чибиса располагались в основном на участках с яровыми культурами и сенокосами. Наблюдалось полное отсутствие интереса птиц к устройству гнезд среди озимых культур, хотя такие участки присутствовали на площадке.



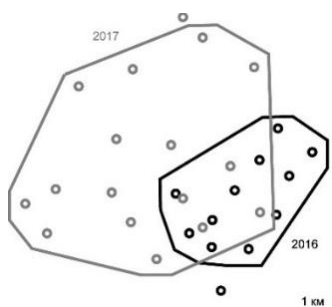


Рис. 2. Контурный анализ распределения территориальных пар чибиса в колонии на основании метода гармонической средней в 2016–2017 гг.

На рис. 2 представлен контурный анализ распределения территориальных пар чибиса в колонии на основании метода гармонической средней в 2016–2017 гг. Концентрация контуров на рисунке прямо пропорциональна расстоянию между центрами активности территориальных пар в данном участке колонии. Степень пространственного перекрытия колоний составила 30%. Один из центров концентрации гнездовых участков колоний в 2016 году совпадает с таковым в 2017. Однако в 2017 году у колонии можно выявить и еще один центр концентрации гнездовых участков (рис. 2).

*Площадка «Клыповщина».* На территории данной площадки произошло смещение основной гнездовой колонии чибисов, причем между колониями 2016 и 2017 годов практически отсутствует перекрытие. Мы связываем это с изменением севооборота на обрабатываемых полях. В 2016 году основная колония чибиса располагалась на поле, засеянном кукурузой, на границе с сенокосными полями. Так как кукуруза растет медленно, этот участок долгое время оставался максимально открытым в сравнении с соседними полями на данной площадке. В 2017 году здесь засеяли озимые, в связи с чем колония переместилась в пределах площадки на участки с яровыми культурами: кукурузой, овсом и ячменем. Следует отметить, что некоторые пары чибиса гнездились и на полях с озимыми, но использовали исключительно участки, в значительной степени вымокшие во время схода снега. На таких участках практически отсутствовала растительность и именно здесь и располагались гнездовые территории чибиса. Порядка пяти пар чибиса гнездились на сенокосном лугу, однако высота растительности здесь также была незначительной в момент начала гнездования птиц на площадке (рис. 3).



Рис. 3. Форма и относительные размеры гнездовой колонии чибиса в 2016–2017 гг., построенные методом выпуклого многоугольника, включающего 95% территориальных пар. Черным контуром показана граница колонии в 2016 году, черные кружки отражают распределение территориальных пар. Серый контур и серые кружки – то же для 2017 года

Площадь гнездовой колонии составила 76 и 167 га в 2016 и 2017 годах соответственно. Максимальные линейные размеры 1132 и 3243 м соответственно. Это 17–38% всей исследуемой площади. Количество гнездящихся пар в 2016–2017 гг. составило 12 и 25 пар соответственно.

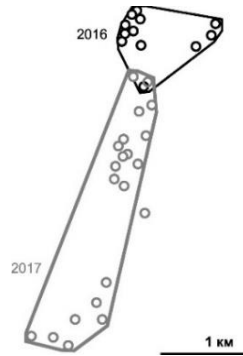


Рис. 4. Контурный анализ распределения территориальных пар чибиса в колонии на основании метода гармонической средней в 2016–2017 гг.

На рис. 4 дан контурный анализ распределения территориальных пар чибиса в колонии на основании метода гармонической средней в 2016–2017 гг. Видно, что в разные сезоны гнездовые колонии имели разные центры концентрации гнездовых участков. Причем в 2016 году в колонии можно выделить только один такой центр, тогда как в 2017 мы видим два разобщенных в пространстве центра. Перекрывание между колониями в 2016 и 2017 году практически отсутствует. Пространство между этими центрами было засеяно озимыми, что сделало данный участок в большинстве своем непригодным для гнездования чибиса.

*Площадка «Загорье».* На ней произошло увеличение площади, занимаемой колонией, без значительного ее смещения в пространстве. Часть площадки, на которой постоянно гнездится чибис, в 2016–2017 годах исследования засеивалась яровыми культурами, такими как ячмень и рапс. Данный участок соседствовал с сенокосами и полями, засеянными озимыми культурами. Площадь колонии, оцененная методом выпуклого многоугольника, включающего 95% территориальных пар, в 2016 году составила 22 га, а в 2017 году – 62 га, при максимальных линейных размерах в 594 и 932 м соответственно (рис. 5). Это 11–32% всей исследуемой площади. В 2016 году на площадке гнездились 17 пар чибиса, а в 2017 г. количество пар увеличилось до 30.



Рис. 5. Форма и относительные размеры гнездовой колонии чибиса в 2016–2017 гг., построенные методом выпуклого многоугольника, включающего 95% территориальных пар. Черным контуром показана граница колонии в 2016 году, черные кружки отражают распределение территориальных пар. Серый контур и серые кружки – то же для 2017 года

На рис. 6 также представлен контурный анализ распределения территориальных пар в колонии. Видно, что некоторые центры концентрации гнездовых участков в 2016 и 2017 гг. перекрываются, но общее перекрывание колоний составило порядка 30%. По сравнению с 2016 годом в 2017-м произошло некоторое смещение поселения, но только в пределах участка, где оно располагалось и ранее. Полного перемещения птиц на другой участок не произошло, как в случае площадки «Клыповщина».

Таким образом, подтверждается наше обоснование, что на смещение поселений чибиса в значительной степени влияет севооборот.

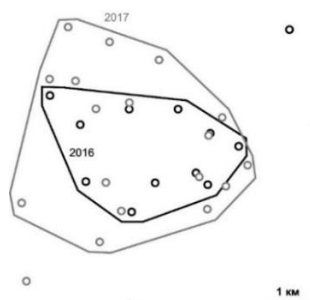


Рис. 6. Контурный анализ распределения территориальных пар чибиса в колонии на основании метода гармонической средней в 2016–2017 гг.

Чибис – самый обычный представитель отряда Ржанкообразные, который гнездится на сельскохозяйственных полях. Все выявленные нами колонии чибиса располагались на небольших участках площадки относительно размеров всей исследуемой территории. Площадь таких колоний варьировала от 22 до 167 га. Причем чибис предпочитал для гнездования участки, засеваемые яровыми культурами и перепахиваемые из года в год. Значительно меньшее количество территориальных пар отмечалось на сенокосных лугах и полях с озимыми, но только при условии низкой растительности или на участках, вымокших при весеннем сходе снега.

На смещение колоний в пространстве существенное влияние оказывает севооборот, осуществляемый на площадке. При отсутствии смены яровых культур на озимые колония смещалась в меньшей степени, чем при активной ротации озимых и яровых культур. Наблюдалось перекрывание колоний 2016–2017 гг. между собой. При использовании на участке с колонией озимых культур наблюдались случаи полного смещения колонии на участке с яровыми. В противном случае колонии занимали более или менее стабильный участок из года в год, хотя расположение отдельных территориальных пар и изменялось.

Территориальные пары чибиса в колониях размещались неравномерно с тенденцией к концентрации на небольших участках. При увеличении количества пар птиц увеличивается и размер колонии.

**Заключение.** Таким образом, пространственное размещение территориальных пар в колониях чибиса на сельскохозяйственных полях во многом зависит от сельскохозяйственных практик. Дальнейшее изучение пространственных характеристик гнездовых колоний чибиса позволит выявить влияние и других факторов. В результате возможна разработка комплекса мер по обеспечению устойчивых гнездовых группировок чибиса и других видов куликов среди таких местообитаний, как сельскохозяйственные поля. Исходя из общеевропейских трендов снижения численности данного вида, подобная работа важна в целях сохранения мировой популяции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. European Red List of Birds. – Luxembourg: BirdLife International, 2015.
2. Blaxter, K. From Dearth to Plenty: the Second Agricultural Revolution / K. Blaxter and N. Robertson. – Cambridge University Press, 1995.
3. Foster, S. Trends of Breeding Farmland Birds in Scotland / S. Foster [et al.] // Scottish Natural Heritage TREND NOTE. – 2013. – № 22. – P. 1–16.
4. Krebs, J. The second silent spring? / J. Krebs [et al.] // Nature. – 1999. – P. 611–612.
5. Kenward, R.E. A manual for Wildlife radio tagging / R.E. Kenward. – Great Britain, 2001. – P. 207–232.

## REFERENCES

1. European Red List of Birds. – Luxembourg: BirdLife International, 2015.
2. Blaxter, K. From Dearth to Plenty: the Second Agricultural Revolution / K. Blaxter and N. Robertson. – Cambridge University Press, 1995.
3. Foster, S. Trends of Breeding Farmland Birds in Scotland / S. Foster [et al.] // Scottish Natural Heritage TREND NOTE. – 2013. – № 22. – P. 1–16.
4. Krebs, J. The second silent spring? / J. Krebs [et al.] // Nature. – 1999. – P. 611–612.
5. Kenward, R.E. A manual for Wildlife radio tagging / R.E. Kenward. – Great Britain, 2001. – P. 207–232.

Поступила в редакцию 11.12.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: kuzydomovoy@gmail.com – Кузьменкова А.М.

# НО-ЗАВИСИМЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ АДРЕНОРЕАКТИВНОСТИ АРТЕРИАЛЬНЫХ СОСУДОВ ПОСЛЕ ИММОБИЛИЗАЦИОННОГО СТРЕССА

С.С. Лазуко

Учреждение образования «Витебский государственный ордена  
Дружбы народов медицинский университет»

При физиологических и патологических состояниях в клетках сосудистой стенки наблюдается экспрессия генов различных изоформ NO-синтаз. Активация NO-синтаз приводит к синтезу монооксида азота и, как следствие, к изменению вазоконстрикции и вазорелаксации. Однако мало изучен вопрос о вкладе различных изоформ NO-синтаз в постстрессорное изменение тонуса артериальных сосудов.

Цель исследования – определить вклад эндотелиальной и индуцибельной NO-синтаз в механизмы нарушения адренореактивности при иммобилизационном стрессе.

**Материал и методы.** Адренореактивность артериальных сосудов изучали на изолированных кольцах аорты крыс путем введения в перфузионный раствор возрастающих концентраций  $\alpha 1$ -адреностимулятора фенилэфрина (от  $10^{-15}$  до  $10^{-6}$  M). Вклад эндотелиальной NO-синтазы (eNOS) определяли, используя конкурентный ингибитор синтеза монооксида азота – метиловый эфир N- $\omega$ -нитро-L-аргинина (L-NAME) (100 мкM, Sigma USA). Для выяснения роли индуцибельной NO-синтазы (iNOS) применяли ее высокоселективный блокатор S-метилизотиомочевину (S-MT) (10 мкM, Sigma, США). Иммуногистохимическое исследование проводили с использованием поликлональных антител (Abcam, UK) к iNOS (1:75) и eNOS (1:150) в срезах аорты. Интерпретацию результатов проводили полуколичественным методом оценки интенсивности окрашивания препарата.

**Результаты и их обсуждение.** Блокада eNOS L-NAME частично ограничила, но полностью не предупредила постстрессорное снижение адренореактивности колец аорты крыс, однако полностью восстановила адреночувствительность гладких миоцитов к фенилэфрину. Напротив добавление в раствор для перфузии блокатора iNOS S-MT полностью предупредило характерное для стресса снижение адренореактивности, но не адреночувствительности. Данные процессы наблюдались на фоне сниженной активности фермента eNOS и гиперэкспрессии iNOS в эндотелии артериальных сосудов после иммобилизационного стресса.

**Заключение.** Таким образом, увеличение адреночувствительности при иммобилизационном стрессе во многом обусловлено стимуляцией эндотелиальной NO-синтазы, которая в этих условиях может продуцировать не только оксид азота, но и активные формы кислорода. Монооксид азота, продуцируемый iNOS, играет ключевую роль в снижении адренореактивности артериальных сосудов при тяжелом стрессе.

**Ключевые слова:** адренореактивность, артериальные сосуды, иммобилизационный стресс.

## NO-DEPENDENT MECHANISMS OF ARTERIAL BLOOD VESSELS ADRENOREACTIVITY REGULATION FOLLOWING IMMOBILIZATION STRESS

S.S. Lazuko

Educational Establishment «Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University»

The expression of different isoforms of NO-synthases is seen in vascular cells at physiological and pathological conditions. Activation of NO-synthases promotes NO synthesis with corresponding disbalance between vasoconstrictors and vasodilators. However, the exact role of different isoforms of NO-synthases in the post stressor arterial tone dysregulation is still being elucidated.

The aim of the investigation was to determine the contribution of the endothelial and inducible NO-synthases to mechanisms of vascular adrenoreactivity disorders following immobilization stress.

**Material and methods.** Arterial blood vessels adrenoreactivity was studied at isolated aortic rings by the infusion of  $\alpha_1$ -adrenomimetic phenylephrine at increasing concentrations ( $10^{-15}$  –  $10^{-6}$ M) in the perfusion solution. The contribution of the endothelial NO-synthase (eNOS) was evaluated after supplementation of the perfusion solution with the competitive inhibitor of NO-synthase N- $\omega$ -nitro-L-arginine methyl ester (L-NAME) (100  $\mu$ M, Sigma USA). To determine the role of inducible NO-synthase (iNOS) in the adrenoreactivity disorders its high-selective inhibitor S-methylisothiourea (S-MT) was added in the perfusion solution (10  $\mu$ M, Sigma, USA). The immunohistochemical investigation was carried out in the aortic slices with polyclonal antibodies (Abcam, UK) to the iNOS (1:75) and eNOS (1:150). Obtained results were interpreted with semiquantitative methods by the assessment of the staining intensity.

**Findings and their discussion.** The eNOS blockage with L-NAME partially, but not entirely prevented post stressor decrease in adrenoreactivity of aortic rings with complete restoration of vascular smooth muscle cells sensitivity to the phenylephrine. In contrast, supplementation of the perfusion solution with iNOS inhibitor S-MT was able to completely prevent stress-induced decrease in adrenoreactivity, but not adenosensitivity. Such alterations were seen at decreased level of the eNOS expression and iNOS hyperexpression in endothelial cells of arterial blood vessels after immobilization stress.

**Conclusion.** Hence, increase of adenosensitivity following immobilization stress is largely due to stimulation of the eNOS, which in such conditions can produce not only nitric oxide but also reactive oxygen species. Nitric oxide, which is produced by iNOS, plays an important role in the decreasing of the arterial blood vessels adrenoreactivity after severe stress.

**Key words:** adrenoreactivity, arterial blood vessels, immobilization stress.

**О**ксид азота (NO) – газообразный свободный радикал, синтез которого происходит из L-аргинина при участии NO-синтаз. Нейрональная (nNOS) и эндотелиальная (eNOS) изоформы NO-синтаз считаются конститутивными. Монооксид азота, синтезируемый эндотелиальной NO-синтазой, играет главную роль в регуляции функции эндотелия и  $\alpha_1$ -адренорецепторов, расположенных в гладких миоцитах сосудистой стенки. NO, синтезируемый eNOS, увеличивает ц-ГМФ, что сопровождается снижением внутриклеточной концентрации ионов кальция гладкомышечных клеток сосудистой стенки, тем самым оказывается влияние на  $\alpha_1$ -адренорецепторы. Монооксид азота обеспечивает быстрое ингибирование эффекта стимуляции  $\alpha_1$ -адренорецепторов. Вследствие этого снижаются  $\alpha_1$ -адренореактивность и сократительная функция гладких миоцитов. Третья изоформа – индуцибельная NO-синтаза (iNOS). Считается, что iNOS образуется при патологических состояниях. В таком случае NO синтезируется в количествах, тысячекратно превышающих его продукцию в норме [1].

Дисфункцию эндотелиоцитов при стрессе, характеризующуюся образованием реактивных форм кислорода и гиперэкспрессией NO, рассматривают как один из механизмов нарушения тонуса артериальных сосудов. Известно, что избыточная продукция NO может приводить к угнетению сердечной деятельности, вазоконстрикторных реакций на адренореактивные стимулы и глубокому, нередко необратимому падению артериального давления не только при септическом, анафилактическом, кардиогенном, геморрагическом, тепловом и других видах шока, но и при хроническом стрессе [2]. Ряд ученых выдвинули гипотезу, в которой установили, что снижение сократительной активности гладкомышечных клеток сосудов может быть причиной развития гипертонии. Предполагают, что механизм, лежащий в ее основе, связан с задержкой крови в кровеносном русле из-за уменьшения вазоконстрикции и нарушения вазодилатации [3].

При физиологических и патологических состояниях в клетках сосудистой стенки наблюдается экспрессия генов различных изоформ NO-синтаз [1]. Активация NO-синтаз приводит к синтезу монооксида азота и, как следствие, к изменению вазоконстрикции и вазорелаксации. Однако мало изучен вопрос о вкладе различных изоформ NO-синтаз в постстрессорное изменение тонуса артериальных сосудов.

Следовательно, оценка сосудистой реактивности и знание механизмов нарушения регуляции тонуса артериальных сосудов могут быть одним из клинических инструментов для оценки вредного воздействия тяжелого стресса.

Цель исследования – определить вклад эндотелиальной и индуцибельной NO-синтаз в механизмы нарушения адренореактивности при иммобилизационном стрессе.

**Материал и методы.** Опыты на животных проводили в соответствии с протоколом по биоэтике и гуманному обращению с лабораторными животными, утвержденным комиссией УО «ВГМУ».

Животные были подразделены на группы: 1-я – контрольная «Контроль» (n=8); 2-я – группа животных, перенесших иммобилизационный стресс, «Стресс» (n=8).

Кольца аорты шириной по 3 мм выделяли из средней части грудной аорты. Приготовленный препарат погружали в органные ванночки объемом 12 мл. В качестве раствора для перфузии использовали раствор Кребса–Хензелята pH 7,4, t=37°C и аэрированный карбогеном (95% O<sub>2</sub> и 5% CO<sub>2</sub>). В те-

чение 2-часового периода стабилизации каждые 15 минут меняли раствор, который омывал препарат аорты. Эксперимент проводили на приборе Schuler Organ bath Type 809 (Hugo Sachs Elektronik, ФРГ). Аортальные кольца сокращались в изометрическом режиме (датчик силы F30 Type372 (Hugo Sachs Elektronik, ФРГ). Вазоконстрикцию изучали путем кумулятивного введения в перфузионный раствор  $\alpha_1$ -адреностимулятора фенилэфрина (от  $10^{-15}$  до  $10^{-6}$ М). Вклад eNOS определяли, используя конкурентный ингибитор синтеза монооксида азота – метиловый эфир N-нитро-L-аргинина (L-NAME) (100 мкМ, Sigma USA). Роль iNOS изучали при помощи добавления в раствор для перфузии S-метилизотиомочевина (S-MT) (10 мкМ, Sigma, США). Чувствительность артериальных сосудов рассчитывали по величине EC<sub>50</sub>, которая представляет собой концентрацию исследуемого вещества, вызывающую 50% ответную констрикторную реакцию препарата аорты.

Стресс моделировали следующим образом: животное фиксировали на предметном столике в положении на спине в течение шести часов. После этого их выпускали в клетку на 90 минут и только затем брали в эксперимент.

Концентрацию стабильных продуктов деградации NO ( $\text{NO}^2/\text{NO}^3$ ) определяли в сыворотке крови. Метод основан на восстановлении нитратов до нитритов. В качестве восстановителя использовали цинковую пыль, помещенную в щелочную среду при наличии аммиачного комплекса сульфата меди. Далее нитрит-ионы выявляли фотометрическим методом (длина волны 520 нм) с помощью реакции Грисса.

Об активации перекисного окисления липидов в плазме крови судили по накоплению в ней диеновых конъюгатов и малонового диальдегида спектрофотометрическим методом. Содержание диеновых конъюгатов в пробе рассчитывали как величину молярного коэффициента экстинкции при 233 нм для сопряженных кислот [4]. Количество малонового диальдегида рассчитывали как молярный коэффициент экстинкции триметинового комплекса [5; 6].

Для выявления концентрации супероксиддисмутазы использовали набор реактивов для спектрофотометрического определения фермента. Непрямой спектрофотометрический анализ основан на применении супероксид-зависимой оксидации кверцетина (растительного флавоноида). Реакция сопровождается обесцвечиванием рабочего раствора в области пропускания с максимумом при длине волны 406 нм. Содержание фермента в сыворотке крови рассчитывается с помощью уравнения, полученного на основании калибровочного графика, приведенного в инструкции к набору.

Метод определения активности каталазы в сыворотке крови основан на способности пероксида водорода образовывать с молибдатом аммония стойкий окрашенный комплекс с максимум поглощения при 410 нм. Расчет проводили по убыли перекиси водорода. Результат выражали в мкат/л. Измерение всех показателей осуществляли на приборе спектрофлуориметра Солар «СМ2203» отечественного производителя (ЗАО «Оптика, авангардные технологии», г. Минск).

**Иммуногистохимия.** После фиксации грудной аорты в 10% растворе нейтрального забуференного формалина и стандартной гистологической проводки готовили серийные срезы толщиной 4–6 мкм. Для гистологического исследования использовали следующие методы окраски: гематоксилином и эозином (для обзорной микроскопии), иммуногистохимическую с применением поликлональных антител к iNOS (1:75) и eNOS (1:150) (Abcam, UK).

В качестве визуализирующей системы использовали Bond Polymer Refine Detection (Leica, UK), включающую комплекс вторичных антител и диаминобензин (ДАБ) в качестве хромогена и гематоксилин для докрашивания препаратов.

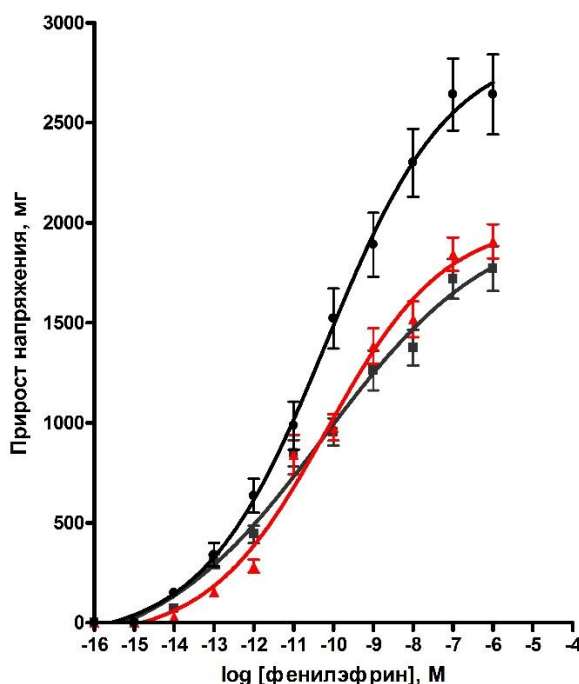
Иммуногистохимическое окрашивание исследуемого препарата осуществляли при помощи роботизированной станции – MAX Processing Module (производства Biosystems Melbourne Pty Ltd, Австралия) в соответствии с протоколами и рекомендациями Leica. После автоматизированного окрашивания препараты промывали под проточной водой, обезживали в спирте и просветляли в карбол-ксилоле и ксилоле. Затем срезы помещали в среду «Bio Mount» («Bio Optica» Milano) и накрывали покровным стеклом. Интерпретацию полученных данных проводили полуколичественным методом оценки интенсивности окрашивания препарата.

Статистический анализ данных тестировали с применением программ Microsoft Excel 2000 и STATISTICA 10.0, а также программного обеспечения GraphPad Prism (San Diego, California, USA). Величины количественных показателей в экспериментальных группах представляли как медиану (Me) и интерквартильный интервал [25%; 75%]. U-критерий Манна–Уитни использовался для определения

значимости различий между независимыми образцами. Статистические гипотезы были проверены на уровне критической значимости 5% ( $p < 0,05$ ).

**Результаты и их обсуждение. Адренергическая констрикция кольца аорты.** В группе «Контроль» первичное напряжение аортального кольца составляло  $1918 \pm 37$  мг. Дозозависимое (от  $10^{-15}$  до  $10^{-6}$  М) добавление фенилэфрина в раствор Кребса сопровождалось увеличением сократительного ответа гладких миоцитов аортальных сегментов крысы. В группе «Контроль» прирост напряжения изолированного сегмента определялся при концентрации адреностимулятора  $10^{-13}$  М и составлял 15% от начального напряжения. Максимальный констрикторный эффект (94%) отмечался при концентрации фенилэфрина в ванночке  $10^{-6}$  М.

Добавление в органную ванночку блокатора eNOS L-NAME сопровождалось выраженной констрикцией аортального сегмента при концентрации  $\alpha 1$ -адреностимулятора  $10^{-6}$  М, что составляло 142%. Этот показатель превышал контрольные значения с интактной эндотелиальной NO-синтазой на 49% (рис. 1).



Примечание: по оси абсцисс – log концентрации фенилэфрина (М); по оси ординат – сокращение в мг, в ответ на введение в перфузионный раствор фенилэфрина. \* –  $p < 0,05$  по сравнению с контролем. ■ – группа «Контроль»; ● – «Контроль+L-NAME»; ▲ – «Контроль+S-метилизотиомочевина».

Рис. 1. Влияние возрастающих концентраций фенилэфрина на величину сократительного ответа изолированного кольца аорты контрольных животных на фоне введения L-NAME и S-метилизотиомочевина

Добавление высокоселективного ингибитора iNOS S-MT в группе животных «Контроль» не оказало воздействия на адренергическую вазоконстрикцию сегмента аорты. Подобный факт указывает на то, что в контроле основная роль в регуляции тонуса артериальных сосудов принадлежит эндотелиальной NO-синтазе. Вероятнее всего, индуцибельная NO-синтаза в контроле либо выражена слабо, либо вовсе не синтезируется.

В группе животных «Стресс» начальное сокращение аортального сегмента фиксировалось при концентрации  $\alpha 1$ -адреностимулятора  $10^{-13}$  М. Максимальный прирост напряжения наблюдался при его концентрации в органной ванночке  $10^{-6}$  М и составлял 79% от исходного напряжения. Следовательно, в группе «Стресс» реакция на фенилэфрин была менее выражена по сравнению с контролем.

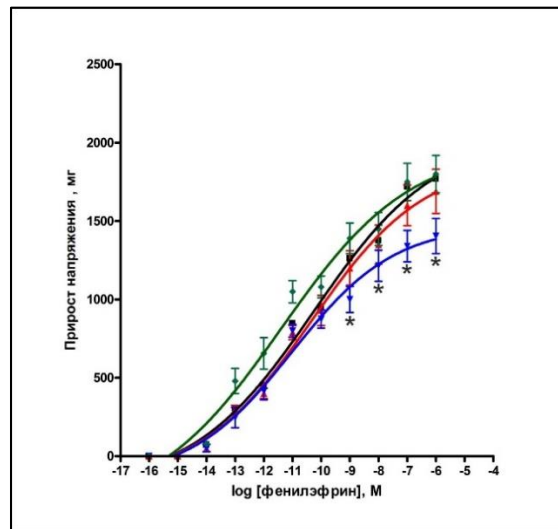
После тяжелого стресса адреночувствительность изолированного сегмента аорты увеличивалась по сравнению со значениями группы «Контроль» (табл. 1).

**Влияние иммобилизационного стресса на изменение чувствительности аортальных сосудов к фенилэфрину**

Группа животных	EC <sub>50</sub> , М	CI 95% EC <sub>50</sub> , М
«Контроль» (n=8)	3,66×10 <sup>-11</sup>	2,34 – 5,70×10 <sup>-11</sup>
«Стресс» (n=9)	8,16×10 <sup>-12*</sup>	5,14×10 <sup>-12</sup> – 1,29×10 <sup>-11</sup>

Примечание: \* – p=0,003 по сравнению с контролем, n – количество животных в группе.

При добавлении в раствор для перфузии изолированного сегмента аорты крыс, подвергнутых тяжелому стрессу L-NAME, прирост составил 93%, что было выражено в меньшей степени, чем в контроле с заблокированной системой эндотелиальной NO-синтазы (рис. 2). Следовательно, использование ингибитора эндотелиальной NO-синтазы ограничило вызванное стрессом нарушение адренореактивности изолированного сегмента аорты экспериментальных животных. Вероятно, индуцируемое стрессом снижение тонуса изолированного сегмента аорты отчасти зависит от увеличенной продукции NO, продуцируемого eNOS.



Примечание: по оси абсцисс – log концентрации фенилэфрина (М); по оси ординат – сокращение в мг, в ответ на введение в перфузионный раствор фенилэфрина. \* – p<0,05 по сравнению с контролем. ■ – группа «Контроль»; ▼ – «Стресс»; ▲ – «Стресс+L-NAME»; ◆ – «Стресс+S-метилизотиомочевина»

**Рис. 2. Влияние возрастающих концентраций фенилэфрина на величину сократительного ответа изолированного кольца аорты крыс, перенесших стресс на фоне введения в перфузионный раствор L-NAME или S-метилизотиомочевины**

На следующем этапе в перфузионный раствор добавляли ингибитор iNOS S-MT. В группе животных, перенесших стресс, сокращение кольца аорты начиналось при концентрации фенилэфрина 10<sup>-13</sup> М (прирост составил 27% от исходного напряжения, рис. 2). При концентрации α<sub>1</sub>-адреностимулятора 10<sup>-6</sup> М наблюдался максимальный прирост напряжения, который составлял 98% от исходного напряжения (рис. 2). Таким образом, инкубация сегмента аорты с S-MT полностью устраняла влияние стресса на сократительную реакцию, вызываемую фенилэфрином. Следовательно, снижение адренореактивности артериальных сосудов после тяжелого стресса в большей степени обусловлено увеличенной продукцией NO, продуцируемого iNOS.

Применение блокаторов как eNOS, так и iNOS не оказывало влияния на чувствительность аортальных колец к фенилэфрину в контрольной группе животных. Интересным является тот факт, что использование блокатора эндотелиальной NO-синтазы L-NAME, но не индуцибельной предупредило снижение чувствительности гладких миоцитов артериальных сосудов крыс, перенесших стресс, к α<sub>1</sub>-адреностимулятору (табл. 2).



Можно предположить, что наряду с монооксидом азота эндотелиальной NO-синтазы на адрено-чувствительность оказывает влияние и супероксидный анион.

Таблица 2

**Влияние метилового эфира N-ω-нитро-L-аргинина (L-NAME) и S-метилизотиомочевины (S-MT) на изменение чувствительности аортальных сосудов к фенилэфрину в группе животных, перенесших иммобилизационный стресс**

Группа животных	EC <sub>50</sub> , М	CI 95% EC <sub>50</sub> , М
«Контроль+S-MT» (n=8)	5,75×10 <sup>-11</sup>	4,46×10 <sup>-11</sup> – 1,02×10 <sup>-10</sup>
«Контроль+L-NAME» (n=8)	6,6×10 <sup>-11</sup>	5,64 – 7,73×10 <sup>-11</sup>
«Стресс+L-NAME» (n=8)	6,06×10 <sup>-11</sup>	3,58×10 <sup>-11</sup> – 1,02×10 <sup>-10</sup>
«Стресс+S-MT» (n=9)	3,29×10 <sup>-12*</sup>	1,89 – 5,72×10 <sup>-12</sup>

Примечание: \* – p=0,001 по сравнению с контролем, n – количество животных в группе.

Тяжелый стресс приводил к увеличению продуктов деградации монооксида азота, сопровождался активацией свободнорадикального окисления на фоне снижения антиоксидантной активности (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние стресса на изменение концентрации продуктов деградации оксида азота (NO<sup>2</sup>/NO<sup>3</sup>), продуктов перекисного окисления липидов (ДК – диеновых конъюгатов, МДА – малонового диальдегида) и антиоксидантной активности (СОД – супероксиддисмутаза, КАТ – каталазы) в сыворотке крови животных**

Группы	Концентрация NO <sup>2</sup> /NO <sup>3</sup> -мкМ в плазме крови	Концентрация ДК, нМ/г липидов в сыворотке крови	Концентрация МДА, нМ/г белка в сыворотке крови	Концентрация СОД в сыворотке крови, в У/л (ед. активности фермента)	Концентрация КАТ в сыворотке крови, в мкат/л
«Контроль» (n=9)	24,20 (21,6; 26,7)	89,9 (87,8; 99,3)	44,73 (39,6; 46,0)	182,27 (169,2; 198,0)	2,53 (2,06; 3,00)
«Стресс» (n=10)	33,10 (29,9; 43,1) <b>p=0,0007</b>	140,9 (124,3; 155,5) <b>p=0,0007</b>	60,98 (53,9; 65,6) <b>p=0,0001</b>	39,0 (31,2; 46,0) <b>p=0,0007</b>	0,66 (0,66; 0,78) <b>p=0,034</b>

Примечание: p<0,05 по сравнению с группой «Контроль»; n – количество животных в группе.

При иммуногистохимическом исследовании препаратов кольца аорты контрольной группы животных изоформа eNOS была выраженной (+++) в эндотелии аорты. В средней и наружной оболочках сосуда экспрессия eNOS определялась от слабой (+) до умеренной (++). Экспрессия iNOS в сегменте аорты не устанавливалась (–).

В группе животных «Стресс» eNOS локализовалась в эндотелии аорты, ее реакция была умеренно выражена (++), в средней и наружной оболочках – слабая (+). В группе животных, перенесших стресс, iNOS локализовалась в гладкомышечных клетках аорты и в отдельных ядрах миоцитов, ее реакция была выражена слабо (+). Напротив, в эндотелии и наружной оболочке аорты наблюдалась выраженная экспрессия iNOS (+++).

Образующаяся при стрессе гиперпродукция оксида азота обусловлена синтезом iNOS. Это подтверждается гиперэкспрессией фермента iNOS в эндотелии артериальных сосудов. Следовательно, NO, продуцируемый iNOS, является основным фактором снижения адренореактивности изолированного кольца аорты крыс, перенесших тяжелый стресс. В наших исследованиях использование блокатора эндотели-

альной NO-синтазы L-NAME частично предупредило постстрессорное снижение адренореактивности изолированного кольца аорты крыс, однако полностью восстановило чувствительность к адреностимулятору. Вследствие этого мы предположили, что причина снижения адреночувствительности гладкомышечных клеток артериальных сосудов к фенилэфрину может быть связана с разобщением eNOS.

Ранее нами было показано, что длительный иммобилизационный стресс сопровождается увеличением содержания С-реактивного белка и интерлейкина 1 $\beta$ . Выявленное системное воспаление низкой интенсивности может способствовать снижению экспрессии eNOS в наших исследованиях, что согласуется с результатами Schwartz et al. [7]. Снижение содержания eNOS может свидетельствовать о разобщении данного фермента [8], в результате чего eNOS, помимо NO, может производить супероксидный радикал или другие активные формы кислорода с последующим уменьшением биодоступности NO [9]. Снижение антиоксидантной активности и активация свободнорадикального окисления (увеличение концентрации ДК и МДА) косвенно подтверждают этот факт. Кроме того, наши данные можно соотнести с экспериментами, выполненными Murata и соавт. на мезентериальных сосудах кролика. Авторами было продемонстрировано, что при хроническом токсическом воздействии на мезентериальные сосуды образуемый супероксидный радикал играет важную роль в уменьшении количества  $\alpha_{1(A)}$ -адренорецепторов [10].

**Заключение.** Полученные экспериментальные данные позволяют констатировать, что тяжелый стресс сопровождается гиперэкспрессией индуцибельной NO-синтазы при сниженной экспрессии eNOS в эндотелии артериальных сосудов. Увеличение адреночувствительности при иммобилизационном стрессе во многом обусловлено стимуляцией эндотелиальной NO-синтазы, которая в этих условиях может продуцировать не только оксид азота, но и активные формы кислорода. Монооксид азота, продуцируемый iNOS, играет ключевую роль в снижении адренореактивности артериальных сосудов при тяжелом стрессе.

Дальнейшее изучение механизмов регуляции тонуса артериальных сосудов в этих условиях будет полезным для разработки новых методов профилактики и лечения сосудистых «катастроф», вызванные окислительным и нитрозилирующим стрессом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Nitric oxide in the stress axis / M.O. López-Figueroa [et al.] // *Histol Histopathol.* – 1998. – Vol. 13. – 1243–1252.
2. Coupling of Lipoperoxidation Reactions with Changes in Arterial Blood Pressure in Hypertensive ISIAH Rats under Conditions of Chronic Stress / L.I. Kolesnikova [et al.] // *Bull. Exp. Biol. Med.* – 2018. – Vol. 164, № 6. – P. 712–715.
3. Li, S.H. Reduced contractile capacity of vascular smooth muscle: Another mechanism of hypertension? / S.H. Li, R.T. Hui // *Medical Hypotheses.* – 2009. – Vol. 73, № 1. – P. 62–64.
4. Recknagel, R.O. Spectrophotometric detection of lipid conjugated dienes / R.O. Recknagel, E.A. Glende // *Methods Enzymol.* – 1984. – Vol. 105. – P. 331–337.
5. Андреева, Л.И. Модификация метода определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой / Л.И. Андреева, В.А. Кожемякин // *Лабораторное дело.* – 1988. – Т. 11. – С. 41–43.
6. Стальной, М.Д. Метод определения малонового альдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты / М.Д. Стальной, Т.Г. Гаришвили // *Современные методы в биохимии* / под ред. В. Н. Ореховича. – М.: Медицина, 1977. – С. 66–68.
7. C-reactive protein downregulates endothelial NO synthase and attenuates reendothelialization in vivo in mice / R. Schwartz [et al.] // *Circ. Res.* – 2007. – Vol. 100, № 10. – P. 1452–1459.
8. C-reactive protein inhibits endothelium-dependent nitric oxide-mediated dilation of retinal arterioles via enhanced superoxide production / T. Nagaoka [et al.] // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* – 2008. – Vol. 49, № 5. – P. 2053–2060.
9. The role of nitric oxide on endothelial function / D. Tousoulis [et al.] // *Curr Vasc Pharmacol.* – 2012. – Vol. 10, № 1. – P. 4–18.
10. Chronic vascular toxicity of doxorubicin in an organ-cultured artery / T. Murata [et al.] // *Br. J. Pharmacol.* – 2001. – Vol. 132, № 7. – P. 1365–1373.

#### REFERENCES

1. Nitric oxide in the stress axis / M.O. López-Figueroa [et al.] // *Histol Histopathol.* – 1998. – Vol. 13. – 1243–1252.
2. Coupling of Lipoperoxidation Reactions with Changes in Arterial Blood Pressure in Hypertensive ISIAH Rats under Conditions of Chronic Stress / L.I. Kolesnikova [et al.] // *Bull. Exp. Biol. Med.* – 2018. – Vol. 164, № 6. – P. 712–715.
3. Li, S.H. Reduced contractile capacity of vascular smooth muscle: Another mechanism of hypertension? / S.H. Li, R.T. Hui // *Medical Hypotheses.* – 2009. – Vol. 73, № 1. – P. 62–64.
4. Recknagel R.O., Glende E.A. Jr. Spectrophotometric detection of lipid conjugated dienes // *Methods Enzymol.* – 1984. – Vol. 105. – P. 331–337.
5. Andreyeva L.I., Kozhemyakin V.A. *Laboratornoye delo* [Laboratory Business], 1988, 11, pp. 41–43.
6. Stalnoy M.D., Garishvili T.G. *Sovremennyye metody v biokhimi* [Contemporary Methods in Biochemistry], M., Meditsina, 1977, pp. 66–68.
7. C-reactive protein downregulates endothelial NO synthase and attenuates reendothelialization in vivo in mice / R. Schwartz [et al.] // *Circ. Res.* – 2007. – Vol. 100, № 10. – P. 1452–1459.
8. C-reactive protein inhibits endothelium-dependent nitric oxide-mediated dilation of retinal arterioles via enhanced superoxide production / T. Nagaoka [et al.] // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* – 2008. – Vol. 49, № 5. – P. 2053–2060.
9. The role of nitric oxide on endothelial function / D. Tousoulis [et al.] // *Curr Vasc Pharmacol.* – 2012. – Vol. 10, № 1. – P. 4–18.
10. Chronic vascular toxicity of doxorubicin in an organ-cultured artery / T. Murata [et al.] // *Br. J. Pharmacol.* – 2001. – Vol. 132, № 7. – P. 1365–1373.

Поступила в редакцию 19.02.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: lazuko71@mail.ru – Лазуко С.С.

## НАХОДКА КУТОРЫ МАЛОЙ (*NEOMYS ANOMALUS* CABRERA, 1907) В УШАЧСКОМ РАЙОНЕ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Саварин

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»

Кутора малая (*Neomys anomalus* Cabrera, 1907) – аборигенный вид териофауны Беларуси, занесенный с 2004 г. в Приложение Красной книги страны (статус – недостаточно данных, DD).

Цель работы – показать эффективность использования почвенных ловушек для выявления мест обитания куторы малой, высказать предположение по ее распространению на территории страны.

**Материал и методы.** Материал собран в июле 2018 г. Для отлова зверьков применялись обрезанные ПЭТ-бутылки большого диаметра (до 16 см). Ловушки вкапывались на берегу оз. Борковщина и вытекающей из него протоки.

**Результаты и их обсуждение.** В статье анализируется факт новой поимки куторы малой (*Neomys anomalus*) на территории Беларуси, близ д. Вашково Ушачского района Витебской области. Основные экстерьерные и краниометрические характеристики анализируемой особи: киль развит только в задней части хвоста, щетинки на лапках короткие и редкие; длина тела – 74 мм, хвоста – 46 мм, стопы – 15 мм; кондилобазальная длина – 19,40 мм, ширина черепа – 9,96 мм, высота нижней челюсти – 3,94 мм.

**Заключение.** Высказано предположение, что шумовое загрязнение не является лимитирующим фактором в расселении *N. anomalus*. Следует ожидать обитание куторы малой и в ряде других озер Ушачского района.

**Ключевые слова:** Витебская область, озера Борковщина и Должина, *Neomys anomalus*, обитание, миграция, экстерьерные и краниометрические характеристики, лимитирующий фактор.

## THE FIND OF THE MEDITERRANEAN WATER SHREW (*NEOMYS ANOMALUS* CABRERA, 1907) IN USHACHY DISTRICT OF VITEBSK REGION

A.A. Savarin

Educational Establishment «Gomel State Francisk Skorina University», Gomel

Mediterranean water shrew (*Neomys anomalus* Cabrera, 1907) is an aboriginal species of the Belarus teriofauna, since 2004 it has been included in the Annex of the Red Data Book of the country (the status is insufficient data, DD).

The purpose of the work is to show the effectiveness of using soil traps to identify the habitats of Mediterranean water shrew, and to make an assumption on its distribution in the country.

**Material and methods.** The material was collected in July of 2018. To catch animals, trimmed PET bottles of large diameter (up to 16 cm) were used. The traps were dug into on the bank of Lake Borkovshchyna and the stream that flows from it.

**Findings and their discussion.** The article analyzes the fact of a new catching of the Mediterranean water shrew (*Neomys anomalus*) on the territory of Belarus, near the village of Vashkovo, Ushachy District, Vitebsk Region. The main exterior and craniometric characteristics of the analyzed specimen are as follows: the keel is developed only in the rear part of the tail, the bristles on the legs are short and rare; body length – 74 mm, tail – 46 mm, feet – 15 mm; condylobasal length – 19,40 mm, skull width – 9,96 mm, height of the lower jaw – 3,94 mm.

**Conclusion.** It is suggested that noise pollution is not a limiting factor in the dispersal of *N. anomalus*. One should expect the dwelling of the Mediterranean water shrew in a number of other lakes in Ushachy District.

**Key words:** Vitebsk Region, Lakes Borkovshchina and Dolzhina, *Neomys anomalus*, habitat, migration, exterior and craniometric characteristics, limiting factor.

**К**утора малая (*Neomys anomalus* Cabrera, 1907) – аборигенный вид териофауны Беларуси, занесенный с 2004 г. в Приложение Красной книги страны (статус – недостаточно данных, DD [1]). В XX в. особи *N. anomalus* отлавливались териологами в Каменецком районе Брестской области (Беловежская пуща), Речицком районе Гомельской области и Лепельском районе Витебской области (Березинский биосферный заповедник) [2]. В 2015 г. одна особь попала в ловушку, установленную у иловых площадок станции по очистке сточных вод г. Береза (Березовский район, Брестская область) [3].

В определенной мере редкость таких находок объясняется отсутствием системных исследований кутор в Беларуси и методическими ошибками при отловах [4], недооценкой роли почвенных ловушек, являющихся эффективными и для изучения комплекса микротиериофауны [5].

Особое значение для установления распространения *N. anomalus* в современных условиях (преобладание природно-техногенных комплексов) приобретает правильный выбор предполагаемого местообитания с учетом особенностей микрорельефа, растительности, глубины водоема и др. факторов, а также подбор и совершенствование методов отлова [6; 7].

В 2016 г. нами уже проводился отлов землероек (*Soricidae*) в Ушачском районе с использованием только ловушек Геро. На основе полевых исследований высказано мнение [8], что система взаимосвязанных озер Борковщина–Должина–Вечелье, а также прилегающие леса со значительной долей ели европейской (*Picea abies*) должны стать объектами особого внимания специалистов. В связи с сохранностью природных комплексов и близостью Березинского заповедника следует ожидать обитания в указанных водных объектах и около них целого ряда малоизученных представителей микротиериофауны Беларуси, в том числе *N. anomalus*, *Sorex isodon* и *S. minutissimus*.

Цель работы – показать эффективность использования почвенных ловушек для выявления мест обитания куторы малой, высказать предположение по ее распространению на территории страны.

**Материал и методы.** Сбор материала проводился с 10 по 26.07.2018 г. на берегу оз. Борковщина и протоке (рис. 1), соединяющей его с оз. Должина. Вся береговая линия обильно заросла макрофитами. Вдоль оз. Борковщина проходит дорога республиканского значения Р-116 (Ушачи–Лепель). В нескольких сотнях метрах от озер расположены д. Вашково и санаторий «Лесные озера».



А



Б

Рис. 1. Протока, соединяющая озера Борковщина и Должина (А),  
схема расставления почвенных ловушек (Б)

Для отлова землероек применяли два вида ловушек: давилки Геро (75 л/с) и обрезанные сверху ПЭТ-бутылки объемом 6 литров, на 4/5 заполненные водой (100 л/с). Такие бутылки по сравнению с использованными [9] ранее (до 2 л) имеют значительно больший диаметр (16 см и 10 см соответственно), что увеличивает вероятность попадания зверьков. Консервирующие жидкости в емкости

не добавляли (для предотвращения химического загрязнения грунта, появления чужеродных запахов). Канавки между почвенными ловушками не делали. На протоке (средняя глубина 0,3–0,4 м) емкости вкапывали в соответствии с направлением течения (зигзагом) на расстоянии 3–5 м друг от друга, в 0,5–1,0 м от береговой линии, на левом, пологом берегу (рис. 1).

Правый берег протоки – более возвышенный, с большим количеством мелких нор. На оз. Борковщина почвенные ловушки были выставлены на восточном берегу (вдоль дороги), давилки – на западном. Ловушки проверялись два раза в день (утром и вечером).

Масса тела зверьков не измерялась. Собранный материал заспиртован, находится в коллекции автора.

**Результаты и их обсуждение.** У водных объектов отловлено 14 землероек, относящихся к 2 родам: *Sorex* (n = 9, из них 2 пойманы в дневное время) и *Neomys* (n = 5, все пойманы в ночное время). Отловленные куторы принадлежат к двум видам: малая (*N. anomalus*, n = 4: из них 1 поймана на оз. Борковщина) и обыкновенная (*N. fodiens*, n = 1, оз. Борковщина). Причем все особи куторы малой пойманы в почвенные ловушки, а особь куторы обыкновенной – ловушкой Геро.

Приведем доказательства поимки двух видов кутор на основе сравнительного [10–11] анализа экстерьерных и краниологических характеристик.

Так, представленные на рис. 2 куторы отличаются по экстерьерным признакам:

- *N. anomalus* (А): длина тела – 74 мм, хвоста – 46 мм, стопы – 15 мм; киль выражен в конце хвоста, протяженность кила – около 18 мм (40% длины хвоста); щетинки на лапах – короткие и редкие;
- *N. fodiens* (Б): длина тела – 102 мм, хвоста – 65 мм, стопы – 19 мм; киль – по всей длине хвоста; щетинки на лапах длинные и густые («бахрома»).

Основные краниометрические характеристики анализируемых особей (рис. 3):

- *N. anomalus* (А): кондилобазальная длина – 19,40 мм, ширина черепа – 9,96 мм, высота нижней челюсти – 3,94 мм;
- *N. fodiens* (Б): кондилобазальная длина – 21,41 мм, ширина черепа – 10,87 мм, высота нижней челюсти – 5,11 мм.

Особый интерес представляют следующие факты:

1. Обитание двух видов кутор в оз. Борковщина (зверьки пойманы на противоположных сторонах водоема, *N. anomalus* – на восточной, у дороги). Приблизительная удаленность мест поимок особей *N. anomalus* и *N. fodiens* – около 150 м. Учитывая сильную пищевую конкуренцию между особями двух видов [7], следует предположить миграцию куторы малой из протоки в озеро и обратно.
2. Поимка 3 особей *N. anomalus* на протоке не далее 50 м от дороги Р-116. Кроме транспортного движения на шумовое загрязнение территории оказывают значительное воздействие вечерне-ночные увеселительные мероприятия расположенного рядом санатория, а также неорганизованных туристов, отдыхающих на берегу оз. Должина.

Указанные факты и обстоятельства согласуются с поимкой особи куторы малой у иловых площадок на территории станции по очистке сточных вод в г. Береза [3]. Вследствие межвидовой конкуренции кутора малая вынуждена заселять участки с более сильным развитием травянистого и кустарникового покровов и совершать при необходимости перемещения [7; 12] до 1 км и даже более.

С учетом поимок особей *N. anomalus* в пойме р. Ясельда в Брестской области [3] и у оз. Борковщина (Витебская область) следует предположить более широкое современное распространение вида на территории Беларуси, но с изолированными участками обитания. Соответствующие мониторинговые исследования должны охватить не только пойменные территории, расположенные даже в черте населенных пунктов, но и береговые линии комплекса взаимосвязанных протоками озер. В эти исследования целесообразно включать и анализ погадок ночных хищных птиц (как самый информативный и безопасный для экосистем метод изучения микротериофауны). Полагаем, что в ближайшее время будет доказано обитание куторы малой в целом ряде озер Ушачского района (прежде всего, в Должина, Вечелье и др.). Указанное обстоятельство потребует определенных изменений в комплексе природоохранных мероприятий водных объектов с целью сохранения их береговой линии, околоводной и водной растительности.





Рис. 2. Экстерьерные особенности кутор малой (А) и обыкновенной (Б)  
(пояснения в тексте, указана протяженность кия)

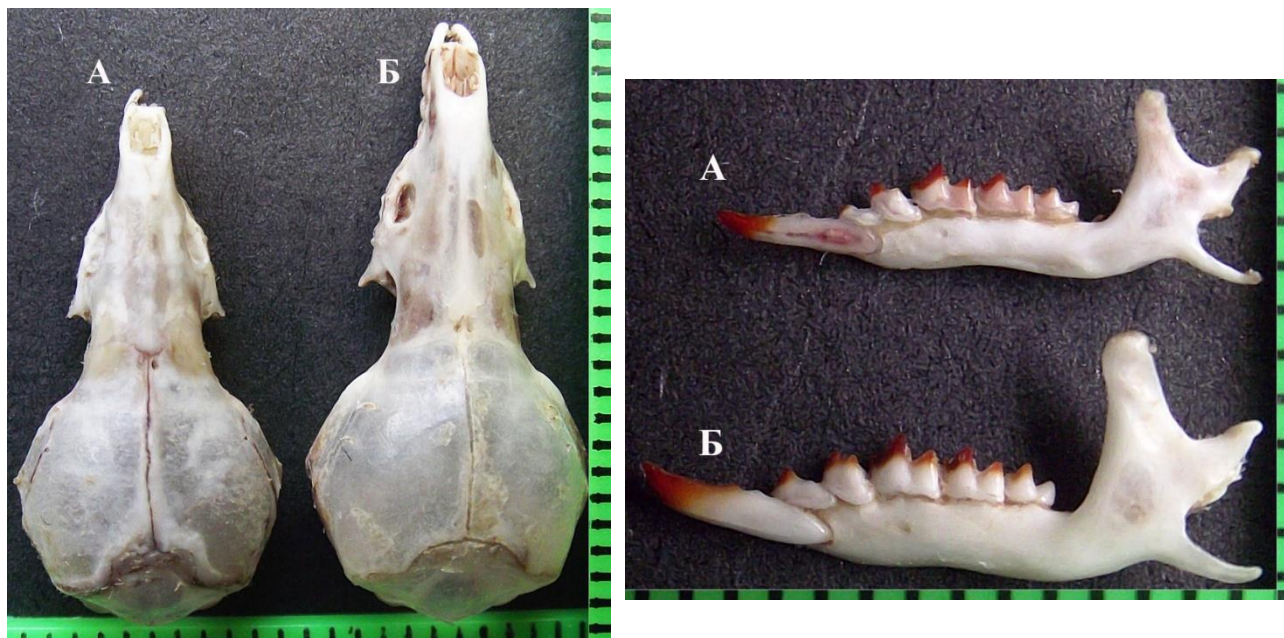


Рис. 3. Краниометрические особенности кутор малой (А) и обыкновенной (Б)  
(пояснения в тексте)

**Заключение.** Высказанное ранее [4] мнение о необходимости корректировки методов и методик исследования для выявления мест обитания малоизученных видов микротерииофауны подтверждено. Традиционные ловушки Геро не эффективны для изучения экологии кутор. Использование почвенных ловушек большого диаметра (модифицированных ловушек Барбера) позволило доказать обитание куторы малой на оз. Борковщина и вытекающей из него протоки, дать предварительную оценку относительной численности (4 ос./ 100 лс почвенных ловушек).

Поимки куторы малой на территории г. Березы [3], а также на протоке в непосредственной близости от дороги с активным движением транспорта в Ушачском районе дают основания полагать, что в современных условиях шумовое загрязнение не является лимитирующим фактором в расселении *N. anomalus*. Поэтому распространенная точка зрения об обитании этой землеройки в первую очередь на особо охраняемых природных территориях требует пересмотра.

В связи с доказанным обитанием двух видов кутор в одном водоеме следует пересмотреть имеющиеся коллекционные фонды, созданные на основе полевых исследований на территории Витебской и Минской областей в последние годы. Для выполнения этой задачи необходимо иметь специалиста-териолога в биологическом (зоологическом) музее университетов, который бы осуществлял этикетирование собранного во время летних практик материала.

Считаем также важным создание фотографического каталога изменчивости экстерьерных и краниологических характеристик двух видов кутор, пойманных на территории Беларуси.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных. – Минск: Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2015. – С. 315.
2. Каштальян, А.П. Материалы по видовому составу и географическому распространению землероек Беларуси / А.П. Каштальян // Биология насекомых-млекопитающих: тез. докл. междунар. конф., Кемерово, 25–28 окт. 1999 г. / Кемеров. гос. ун-т; редкол.: В.Н. Большаков [и др.]. – Кемерово, 1999. – С. 50–53.
3. Саварин, А.А. О находке куторы малой (*Neomys anomalus*) на территории станции по очистке сточных вод г. Береза (Брестская область) / А.А. Саварин, А.Н. Молош // Вісн. Одес. нац. ун-ту. Біологія. – 2017. – Т. 22, № 1(40). – С. 71–77.
4. Саварин, А.А. О проблемах изучения экологии и видовой диагностики кутор (*Neomys*, *Soricidae*), обитающих на территории Беларуси / А.А. Саварин, А.Н. Молош // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2014. – № 6(87). – С. 63–68.
5. Новые сведения по фауне мелких млекопитающих (*Rodentia*, *Insectivora*), попадающих в почвенные ловушки / А.Б. Ручин [и др.] // Труды Мордовс. гос. природного заповедника им. П.Г. Сидовича. – 2018. – Вып. 20. – С. 223–228.

6. A northern refugium of the Mediterranean water shrew *Neomys anomalus* in Słowiński National Park (N Poland) / L. Rychlik [et al.] // *Biological lett.* – 2012. – Vol. 49, iss. 1. – P. 73–81.
7. Keckel, M.R. Differences in the microhabitat preferences of *Neomys fodiens* (Pennant 1771) and *Neomys anomalus* Cabrera, 1907 in Saxony, Germany / M.R. Keckel, H. Ansorge, C. Stefen // *Acta Theriologica.* – 2014. – Vol. 59, iss. 4. – P. 485–494.
8. Саварин, А.А. Краниологический атлас млекопитающих Беларуси. Насекомоядные: в 3 ч. Ч. 2 / А.А. Саварин. – Минск: Колорград, 2018. – 65 с.
9. Саварин, А.А. Методические основы изучения мелких млекопитающих (на примере р. *Crocidura*): для студентов специальности 1-33 01 02 «Геоэкология» / А.А. Саварин, А.Н. Молош. – Минск: Колорград, 2016. – 32 с.
10. Зайцев, М.В. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий: насекомоядные / М.В. Зайцев, Л.Л. Войта, Б.И. Шефтель. – М.–СПб.: Наука, 2014. – 391 с.
11. Balčiauskas, L. Mediterranean water shrew (*Neomys anomalus*): range expansion northward / L. Balčiauskas, L. Balčiauskienė, U. Timm // *Turkish Journal of Zoology.* – 2016. – Vol. 40, № 1. – P. 103–111.
12. Зоря, А.В. Первая находка куторы малой (*Neomys anomalus*) в Харьковской области / А.В. Зоря // *Вестник зоологии.* – 2008. – Т. 42, № 5. – С. 476.

## REFERENCES

1. *Krasnaya kniga Respubliki Belarus: redkiye i nakhodiaschchiyesia pod ugrozoi ischeznoventiya vidy dikikh zhivotnykh* [Red Book of the Republic of Belarus: Rare and about to Disappear Species of Wild Animals], Minsk, BelEn, 2015, p. 315.
2. Kashtalyan A.P. *Biologiya nasekomoyadnykh mlekopitayushchikh: tezisy dokladov mezhdunr. konf., Kemerovo, 25–28 oktiabria 1999 g., Kemerovski gos. un-t* [Abstracts of the International Symposium of Biology of Insectivorous Mammals, Kemerovo, October 25–28, 1999], Kemerovo, 1999, pp. 50–53.
3. Savarin A.A., Molosh A.N. *Visnik Odeskogo natsionalnogo universitetu. Biologiya* [Odessa National University Herald. Biology], 2017, 22, 1(40), pp. 71–77.
4. Savarin A.A., Molosh A.N. *Izvestiya Gomelskogo gosudarstvennogo universiteta im. F. Skoriny* [Journal of Francisk Skorina Gomel State University], 2014, 6(87), pp. 63–68.
5. Ruchin A.B. *Trudi Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P.G. Smidovicha* [Proceedings of Mordovia State Nature Reserve], 2018, 20, pp. 223–228.
6. A northern refugium of the Mediterranean water shrew *Neomys anomalus* in Słowiński National Park (N Poland) / L. Rychlik [et al.] // *Biological lett.* – 2012. – Vol. 49, iss. 1. – P. 73–81.
7. Keckel, M.R. Differences in the microhabitat preferences of *Neomys fodiens* (Pennant 1771) and *Neomys anomalus* Cabrera, 1907 in Saxony, Germany / M. R. Keckel, H. Ansorge, C. Stefen // *Acta Theriologica.* – 2014. – Vol. 59, iss. 4. – P. 485–494.
8. Savarin A.A. *Kraniologicheski atlas mlekopitayushchikh Belarusi. Nasekomoyadnye. Ch. 2* [Craniological Atlas of Mammals of Belarus. Lipotyphlans], Minsk, Kolorgrad, 2018, 65 p.
9. Savarin A.A., Molosh A.N. *Metodicheskiye osnovy izucheniya melkikh mlekopitayushchikh (na primere r. Crocidura)* [Methodological Bases for Studying Small Mammals (the example of g. *Crocidura*)], Minsk, Kolorgrad, 2016, 32 p.
10. Zaitsev M.V., Voita L.L., Sheftel B.I. *Mlekopitayushchiye fauni Rossii i sopredelnykh territory: nasekomoyadnye* [Mammals of Russia and Adjacent Territories: Lipotyphlans], M., SPb., Nauka, 391 p.
11. Balčiauskas, L. Mediterranean water shrew (*Neomys anomalus*): range expansion northward / L. Balčiauskas, L. Balčiauskienė, U. Timm // *Turkish Journal of Zoology.* – 2016. – Vol. 40, № 1. – P. 103–111.
12. Zoria A.V. *Vestnik zoologii* [Journal of Zoology], 2008, 42(5), pp. 476.

Поступила в редакцию 13.09.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: a\_savarin@mail.ru – Саварин А.А.



ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ  
КОМПЛЕКСОВ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ  
(INSECTA: COLEOPTERA) В КОНСОРЦИЯХ  
ЧЕРНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*VACCÍNIUM MYRTÍLLUS*),  
БРУСНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*VACCÍNIUM VÍTIS-IDAÉA*)  
И ГОЛУБИКИ ТОПЯНОЙ (*VACCÍNIUM ULIGINÓSUM*)  
В БЕЛОРУССКОМ ПООЗЕРЬЕ

О.И. Хохлова

Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»

*Vaccínium myrtíllus*, *V. vítis-idaéa* и *V. uliginósum* относятся к важным биологическим ресурсам Белорусского Поозерья и играют значительную роль в формировании напочвенного покрова бореальных хвойных лесов севера Беларуси. Однако целенаправленных исследований биоразнообразия связанных с ними комплексов насекомых до настоящего времени не проводилось.

Цель данной работы – изучить таксономический состав и биоразнообразие комплексов жесткокрылых насекомых в консорциях черники *Vaccínium myrtíllus*, *V. vítis-idaéa* и *V. uliginósum* в Белорусском Поозерье.

**Материал и методы.** Сбор материала проводился в сосновых лесах и на верховых болотах Витебской области методом энтомологического кошения в 2017–2018 гг.

**Результаты и их обсуждение.** Выявлен таксономический состав жесткокрылых в консорциях *Vaccínium myrtíllus*, *V. vítis-idaéa* и *V. uliginósum*. Дана оценка альфа- и бета-разнообразия. Выявлены виды, приуроченные к определенному типу консорции.

**Заключение.** Наибольшим видовым богатством жуков отличались консорции *Vaccínium uliginósum*, наименьшим – *V. vítis-idaéa*. По показателям относительной численности достоверных различий между комплексами жесткокрылых не установлено. Консорции *Vaccínium myrtíllus* отличались наиболее высокими показателями альфа-разнообразия и выравниваемости видов жуков по относительному обилию. Качественный состав доминирующих видов был различен. Анализ бета-разнообразия показал отчетливые различия видового состава жуков трех исследуемых консорций.

**Ключевые слова:** *Vaccínium myrtíllus*, *V. vítis-idaéa* и *V. uliginósum*, Белорусское Поозерье, жесткокрылые, биоразнообразие.

TAXONOMIC COMPOSITION AND BIODIVERSITY  
OF LEPIDOPTERA COMPLEXES (INSECTA: COLEOPTERA)  
IN BILBERRY (*VACCÍNIUM MYRTÍLLUS*), RED BILBERRY  
(*VACCÍNIUM VÍTIS-IDAÉA*) AND BLUEBERRY CONSORTIA  
(*VACCÍNIUM ULIGINÓSUM*) IN BELARUSIAN POOZERIYE  
(LAKE DISTRICTS)

O.I. Khokhlova

Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

*Vaccínium myrtíllus*, *V. vítis-idaéa* and *V. uliginósum* are one of the most important biological resources of Belarusian Poozeriye and play an important role in the formation of the above soil cover of boreal coniferous forests of Northern Belarus. However, there haven't been any targeted studies so far of the biodiversity of insect complexes connected with them.

The purpose of the research is to study taxonomic composition and biodiversity of beetle complexes in Bilberry consortia *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* and *V. uliginosum* in Belarusian Poozeriye.

**Material and methods.** The material was collected in pine forests and in the peat bogs of Vitebsk Region with an entomological sweep net in 2017–2018.

**Findings and their discussion.** The taxonomic composition of Coleoptera has been identified in the consortium *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* and *V. uliginosum*. Alpha and beta diversity of beetle assemblages were studied. Beetle species, confined to a particular type of consortium were recorded.

**Conclusion.** The highest species richness of the beetles was on the *Vaccinium uliginosum*, the lowest were on *V. vitis-idaea*. In terms of relative abundance differences among beetle complexes have not been established. *Vaccinium myrtillus* consortia were distinguished by the highest rates of alpha diversity and evenness of beetles. The composition of the dominant species was different. Analysis of beta diversity showed clear differences in the beetle species composition of the three consortia.

**Key words:** *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* u *V. uliginosum*, Belarusian Lake District, beetles, biodiversity.

Черника обыкновенная, брусника обыкновенная и голубика топяная относятся к важным биологическим ресурсам Белорусского Поозерья, так как обладают ценными пищевыми свойствами и являются лекарственными растениями. Кроме того, данные растения играют значительную роль в формировании напочвенного покрова бореальных хвойных лесов севера Беларуси [1]. Образованный ими кустарничковый ярус формирует специфический микроклимат и предоставляет экологические ниши для целого ряда консументов. В фокусе концепции консорций [2] можно предположить, что с *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* и *V. uliginosum* связан специфический комплекс животных, растений и микроорганизмов, образующих с ними трофические, симбиотические, паразитические, топические и другие взаимоотношения. Эти виды имеют большое значение в существовании такой группировки и расцениваются как виды-партнеры или консорты. Консорция включает ряд организмов, таких как консорты 1-го, 2-го и 3-го порядков. К первой группе относятся виды, непосредственно, в большинстве случаев трофически, связанные с центральным видом (фитофаги, фитопаразиты, симбионты), ко второй – виды, существующие за счет консортов 1-го порядка (зоофаги и их паразиты), к третьей – за счет предыдущих организмов [2]. К специфическим особенностям кустарничков *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* и *V. uliginosum* как центров консорций можно отнести наличие многолетних жестких побегов, толстую кутикулу, восковой налет и высокое содержание дубильных веществ. Данные морфологические особенности затрудняют потребление тканей этих и других кустарничков семейства Вересковые (*Ericaceae*) фитофагами [3].

Среди обитателей лесных биоценозов важная роль отводится насекомым, которые обладая высокой численностью и богатым видовым разнообразием, являются одними из основных консументов. Среди насекомых как по видовому богатству, так и по относительному обилию выделяются жесткокрылые. Однако до настоящего времени целенаправленные исследования видового состава и экологии жесткокрылых насекомых консорций кустарничков семейства Вересковые не проводились как в Белорусском Поозерье в частности, так и в Республике Беларусь в целом. Имеющиеся немногие литературные данные фрагментарны [4–9].

Цель работы – изучить таксономический состав и биоразнообразие комплексов жесткокрылых насекомых в консорциях черники обыкновенной, брусники обыкновенной и голубики топяной в Белорусском Поозерье.

**Материал и методы.** Материалом публикации послужили сборы автора, выполненные в 4 административных районах Витебской области (Витебском, Сенненском, Лепельском, Миорском). Исследования проводились с конца апреля до начала ноября в 2017–2018 гг., с интервалом 10–14 дней, с использованием метода энтомологического кошения сачком с диаметром обруча 30 см. За единицу учета было принято 50 взмахов в пятикратной повторности, т.е. в течение полевого сезона на каждом из стационаров исследований получено как минимум по 5 выборочных совокупностей в каждой из изучаемых консорций и 15 – в целом. Данные количественных учетов (учетная плотность, выраженная числом экземпляров на 50 взмахов сачка) всех выборочных совокупностей одного типа консорции были объединены для вычисления средней величины и ее стандартной ошибки.

Сбор материала осуществлялся на следующих стационарах: 1) сосняки черничные (консорции черники) – окр. д. Придвинье (Витебский р-н, координаты 55°10'N 29°56' E); окр. д. Щитовка (Сеннен-

ский р-н, координаты 54°52'N 30°22'E); окр. д. Боровка (Лепельский р-н, координаты 54°57'N 28°48'E); окр. д. Волковщина (Миорский р-н, координаты 55°34'N 27°26' E); 2) сосняки брусничные (консорции брусники) – окр. д. Придвинье (Витебский р-н, координаты 55°10'N 29°27' E); окр. д. Щитовка (Сенненский р-н, координаты 54°52'N 30°27' E); окр. д. Боровка (Лепельский р-н, координаты 54°58'N 28°53'E); окр. д. Волковщина (Миорский р-н, координаты 55°33'N 27°25' E); 3) верховые болота (консорции голубики) – окр. д. Придвинье (Витебский р-н, координаты 55°10'N 29°57' E); окр. д. Каменполье (Миорский р-н, координаты 55°37'N 27°32' E); окр. д. Мартиновцы (Миорский р-н, координаты 55°38'N 27°34' E).

Перед выполнением статистического анализа данные были проверены на соответствие закону нормального распределения с использованием теста Шапиро–Уилка. Для оценки различий между выборками применялся непараметрический критерий Краскела–Уоллиса (H). Для выявленного (S observed) и прогнозируемого возможного (S estimated) числа видов использовались непараметрические эстиматоры Chao 2 и Bootstrap. Данные алгоритмы экстраполяции видового богатства позволяют проводить оценку ожидаемого числа видов на основе сравнительно небольшого числа выборок [10]. Кроме того, для прогностических расчетов ожидаемого числа видов и оценки выборочных усилий при сборе материала применен графический метод, основанный на построении кумулятивных кривых накопления видового богатства по выборочным совокупностям для определения теоретического верхнего предела (асимптоты) [10]. Для анализа структуры доминирования использовалась шкала Г. Энгельманна (1978), где E – эудоминант (>40,0%), D – доминант (12,5–39,9%), SD – субдоминант (4,0–12,4%), R – рецедент (1,3–3,9%), SR – субрецедент (<1,3%) [11].

Для оценки альфа-разнообразия колеоптерокомплексов применены индекс информационного разнообразия Шеннона–Уивера (H') и индекс выравненности Пielу (J') [10]. Бета-разнообразие комплексов жесткокрылых исследовано с помощью непараметрического теста ANOSIM (analysis of similarity) и неметрического многомерного шкалирования (non-metric multidimensional scaling, NMDS) на основе индекса Брея–Кертиса. Кроме того, для выявления видов, которые вносят наибольший вклад в гетерогенность комплексов, выполнен SIMPER (similarity of percentage) анализ [12].

Приуроченность видов к определенному типу консорций была проанализирована с помощью анализа главных компонент (Principal component analysis, PCA). На ординационной диаграмме названия видов приводятся сокращенно (три первые буквы – названия рода и три первые буквы – названия вида). Виды, выявленные в количестве менее пяти экземпляров, исключены из анализа. Предварительно было выполнено преобразование данных ( $\log_{10}(n + 1)$ ), так как многие виды имели нулевые значения, т.е. отсутствовали в сборах в отдельных консорциях.

Анализы выполнены в статистическом пакете PAST 3.21.

**Результаты и их обсуждение.** В результате исследования установлено 57 видов представителей отряда Жесткокрылые, входящих в состав 40 родов 13 семейств. Наибольшим числом видов отличались жуки семейств Chrysomelidae (7–10 видов) и Coccinellidae (5–7 видов). В различных консорциях семейство Cantharidae представлено соответственно 1–4 видами, Curculionidae и Elateridae – 2–4 видами. В остальных семействах выявлено 1–2 вида.

Таблица 1

**Таксономический состав комплексов жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье**

Семейство	Консорции											
	<i>Vaccinium myrtillus</i>				<i>Vaccinium vitis-idaea</i>				<i>Vaccinium uliginosum</i>			
	чис- ло ви- дов	доля в %	чис- ло ро- дов	доля в %	чис- ло ви- дов	доля в %	чис- ло ро- дов	доля в %	чис- ло ви- дов	доля в %	чис- ло ро- дов	доля в %
<i>Scirtidae</i>	2	7,41	1	4,55	1	4,35	1	4,76	2	5,88	1	3,45
<i>Elateridae</i>	2	7,41	2	9,09	2	8,70	2	9,52	4	11,76	4	13,79
<i>Cantharidae</i>	1	3,70	1	4,55	3	13,04	2	9,52	3	8,82	4	13,79

Окончание табл. 1

<i>Dasytidae</i>	1	3,70	1	4,55	0	0	0	0	1	2,94	1	3,45
<i>Phalacridae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2,94	1	3,45
<i>Coccinellidae</i>	7	25,93	5	22,73	5	21,74	5	23,81	7	20,59	6	20,69
<i>Latridiidae</i>	1	3,70	1	4,55	0	0	0	0	1	2,94	1	3,45
<i>Byturidae</i>	0	0	0	0	1	4,35	1	4,76	0	0	0	0
<i>Oedemeridae</i>	0	0	0	0	1	4,35	1	4,76	0	0	0	0
<i>Lagriidae</i>	1	3,70	1	4,55	1	4,35	1	4,76	1	2,94	1	3,45
<i>Chrysomelidae</i>	7	25,93	6	27,27	7	30,43	6	28,57	10	29,41	7	24,14
<i>Apionidae</i>	1	3,70	1	4,55	0	0	0	0	2	5,88	1	3,45
<i>Curculionidae</i>	4	14,81	3	13,64	2	8,70	2	9,52	2	5,88	2	6,90
<b>Vсero</b>	<b>27</b>	<b>100</b>	<b>22</b>	<b>100</b>	<b>23</b>	<b>100</b>	<b>21</b>	<b>100</b>	<b>34</b>	<b>100</b>	<b>29</b>	<b>100</b>

Выявлены значимые различия видового богатства ( $H=5,6$ ,  $p=0,05$ ) комплексов жесткокрылых анализируемых консорций. При этом наибольшее среднее число видов установлено в консорциях голубики топяной, наименьшее – в консорциях брусники обыкновенной (рис. 1).

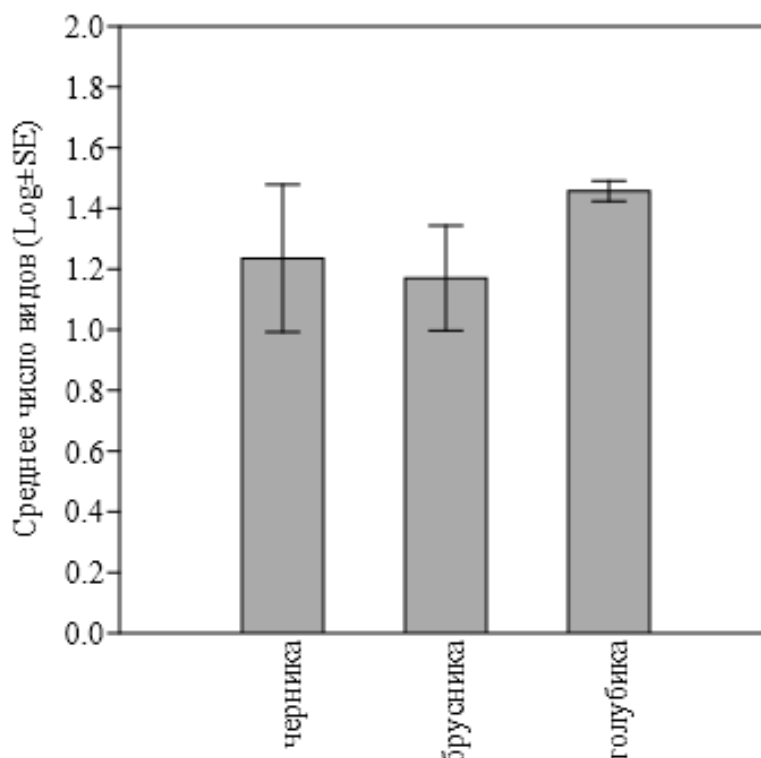


Рис. 1. Среднее число видов жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

Выполненные расчеты прогнозируемого числа видов на основе непараметрических эстиматоров и их стандартных отклонений продемонстрировали относительно высокое соответствие наблюдаемого видового богатства к максимально возможному, что указывает на достаточные выборочные усилия при отборе проб (табл. 2). В частности, эстиматор Chao 2 обозначил соотношение 82,14–91,89% числа выявленных видов к максимально возможному. По результатам Bootstrap соотношение было несколько ниже (79,31–85,00%). Достаточные выборочные усилия при отборе проб показывает и кумулятивная кривая накопления видового богатства по выборкам, угол наклона которой близок к асимптоте (рис. 2).

Показатели видового богатства, учетной плотности и разнообразия комплексов жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

Показатель	Консорции		
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Vaccinium uliginosum</i>
Число видов (S)	27	23	34
Chao 2	32	28	37
Стандартное отклонение Chao 2	7,55	5,40	3,07
Соотношение (%) наблюдаемого числа видов к максимально возможному по Chao 2	84,37	82,14	91,89
Bootstrap	34	29	40
Стандартное отклонение Bootstrap	4,58	4,52	2,08
Соотношение (%) наблюдаемого числа видов к максимально возможному по Bootstrap	79,41	79,31	85,00
Учетная плотность (экз./50 взмахов сачка)	163,62	121,43	103,60
Стандартная ошибка учетной плотности	24,81	28,40	8,55
Индекс Шеннона (H')	1,718	1,594	2,838
Стандартная ошибка H'	0,08	0,06	0,01
Индекс Пиелу (J')	0,326	0,336	0,596
Стандартная ошибка J'	0,02	0,03	0,01

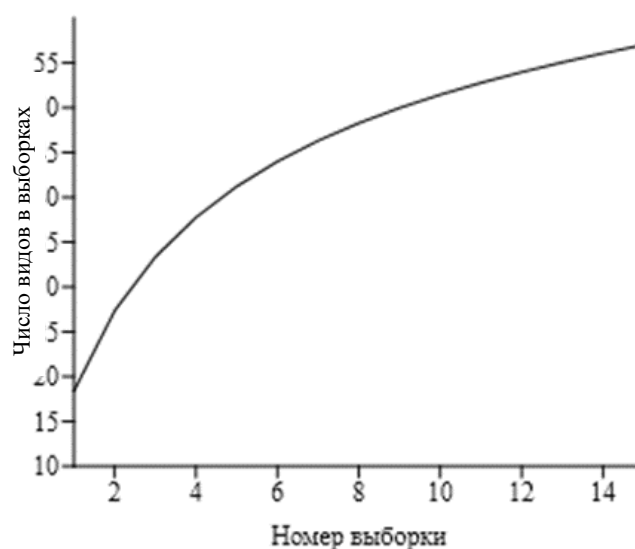


Рис. 2. Кумулятивная кривая накопления видового богатства по выборочным совокупностям жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

Наиболее высокая средняя учетная плотность жесткокрылых выявлена в консорции черники обыкновенной, наименьшая – в консорции брусники обыкновенной (табл. 2, рис. 3). Однако различия среднего числа экземпляров в выборочных совокупностях оказались статистически незначимыми ( $H=3,9$ ,  $p=0,14$ ).

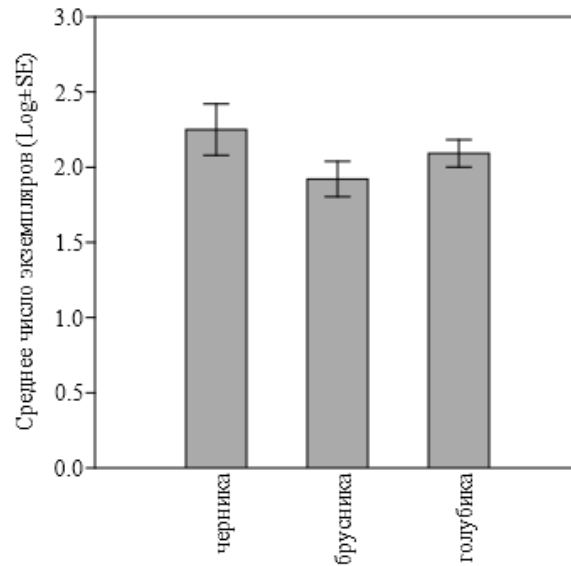


Рис. 3. Среднее число экземпляров жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

Максимальным альфа-разнообразием по показателю индекса Шеннона ( $H' = 2,838$ ) характеризовались комплексы жесткокрылых насекомых консорции *Vaccinium uliginosum*, наименьшим ( $H' = 1,594$ ) – консорции *Vaccinium vitis-idaea*. Достаточно высокое разнообразие жуков в консорции черники обыкновенной сопровождалось и большей выравненностью ( $J' = 0,596$ ). Хотя в целом выравненность комплексов жесткокрылых низкая (табл. 2).

В консорции *Vaccinium myrtillus* эудоминантом оказался долгоносик *Strophosoma capitatum* (46,35%), доминантом была мохнатка *Lagria hirta* (22,85%), субдоминанты – щелкун *Athous subfuscus* (7,73%) и листоед *Cryptocephalus labiatus* (4,51%). Среди жесткокрылых насекомых консорции *Vaccinium vitis-idaea* эудоминантом был также долгоносик *Strophosoma capitatum* (52,67%), доминантом являлся листоед *Lochmaea suturalis* (27,43%), субдоминантом – щелкун *Athous subfuscus* (5,10%). В консорции *Vaccinium uliginosum* эудоминанты не отмечены. Доминантами были семяед *Apion fulvipes* (18,03%) и божья коровка *Chilocorus renipustulatus* (16,69%), субдоминантами – скрытник *Corticarina gibbosa* (8,51%), божья коровка *Coccinella hieroglyphica*, мохнатка *Lagria hirta*, листоед *Lochmaea suturalis* (по 6,18% соответственно) и листоед *Aphthona euphorbiae* (4,67%) (табл. 3).

Таблица 3

Видовой состав и относительное обилие (%) комплексов жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

Вид	Консорции		
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Vaccinium uliginosum</i>
<i>Cyphon spp.</i>	0,21	3,16	3,17
<i>C. ochraceus</i> Stephens, 1830	0,64	0,00	0,00
<i>C. padi</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,00	2,34
<i>Athous haemorrhoidalis</i> (Fabricius, 1801)	0,00	0,00	0,67
<i>A. subfuscus</i> (Müller, 1764)	7,73	5,10	0,00
<i>Denticollis linearis</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,00	0,33
<i>Ampedus sanguinolentus</i> (Schrank, 1776)	0,00	0,00	0,17

<i>Sericus brunneus</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,00	0,67
<i>Dalopius marginatus</i> (Linnaeus, 1758)	1,07	1,94	0,00
<i>Cantharis fulvicollis</i> (Fabricius, 1792)	0,00	0,24	0,00
<i>C. quadripunctata</i> (Müller, 1764)	0,00	0,00	0,67
<i>Rhagonycha lignosa</i> (Müller, 1764)	0,00	0,24	0,00
<i>Rh. limbata</i> Thomson, 1864	0,00	0,24	0,00
<i>Rh. testacea</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,00	0,67
<i>Malthinus biguttatus</i> (Linnaeus, 1758)	0,32	0,00	1,00
<i>Dasytes niger</i> (Linnaeus, 1761)	0,00	0,00	1,34
<i>D. plumbeus</i> (Müller, 1776)	0,43	0,00	0,00
<i>Olibrus aeneus</i> (Fabricius, 1792)	0,00	0,00	0,83
<i>Chilocorus bipustulatus</i> (Linnaeus, 1758)	0,54	0,00	2,17
<i>Ch. renipustulatus</i> (Scriba, 1790)	3,65	0,24	16,69
<i>Exohomus quadripustulata</i> (Linnaeus, 1758)	0,21	0,00	0,00
<i>Coccinulla quatuordecimpustulata</i> (Linnaeus, 1758)	0,11	0,00	1,34
<i>Anisosticta novemdecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,00	0,50
<i>Calvia decemguttata</i> (Linnaeus, 1767)	0,00	0,24	0,33
<i>Psyllohora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758)	3,43	0,73	0,00
<i>Myzia oblongoguttata</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,73	0,00
<i>Hippodamia tredecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,24	1,84
<i>Coccinella hieroglyphica</i> Linnaeus, 1758	1,61	0,00	6,68
<i>C. septempunctata</i> Linnaeus, 1758	0,21	0,00	0,00
<i>Corticarina gibbosa</i> (Herbst, 1793)	0,75	0,00	8,51
<i>Byturus aestivus</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,24	0,00
<i>Chrysanthia geniculata</i> Heyden, 1877	0,00	0,97	0,00
<i>Lagria hirta</i> (Linnaeus, 1758)	22,85	0,24	6,18
<i>Oulema gallaeciana</i> (Heyden, 1870)	0,00	0,49	0,00
<i>Cryptocephalus labiatus</i> (Linnaeus, 1761)	4,51	2,18	3,17
<i>Lochmaea suturalis</i> (Thomson, 1866)	2,15	27,43	6,18
<i>Phyllotreta nemorum</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,00	0,67
<i>Ph. undulata</i> Kutschera, 1860	0,00	0,00	0,83
<i>Ph. vittata</i> (Fabricius, 1801)	0,11	0,00	0,00
<i>Ph. vittula</i> (Redtenbacher, 1849)	0,00	0,49	0,00
<i>Aphthona euphorbiae</i> (Schrank, 1781)	1,39	0,97	4,67
<i>Longitarsus parvulus</i> (Paykull, 1799)	0,00	0,24	3,67
<i>L. pratensis</i> (Panzer, 1784)	0,00	0,00	1,00
<i>Altica oleracea</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,00	2,00
<i>Crepidodera aurata</i> (Marshall, 1802)	0,00	0,00	0,33
<i>C. aurea</i> (Geoffroy, 1785)	0,00	0,00	0,17
<i>Chaetocnema breviscula</i> (Faldermann, 1884)	0,11	0,73	0,00
<i>Ch. tibialis</i> Illiger, 1807	0,21	0,00	0,00
<i>Mniophila muscorum</i> (Koch, 1803)	0,21	0,00	0,00
<i>Apion fulvipes</i> (Geoffroy, 1785)	0,64	0,00	18,03
<i>A. seniculus</i> Kirby, 1808	0,00	0,00	0,33
<i>Otiorhynchus scaber</i> (Linnaeus, 1758)	0,00	0,24	0,00
<i>Phyllobius arborator</i> (Herbst, 1797)	0,11	0,00	0,00
<i>Ph. pyri</i> (Linnaeus, 1758)	0,11	0,00	0,00
<i>Strophosoma capitatum</i> (DeGeer, 1775)	46,35	52,67	2,50
<i>Brachonyx pineti</i> (Paykull, 1792)	0,32	0,00	0,00
<i>Rhynchaenus iota</i> (Fabricius, 1787)	0,00	0,00	0,33

Выполненный анализ бета-разнообразия с использованием неметрического многомерного шкалирования (nMDS) показал отчетливые различия видового состава жуков трех исследуемых консорциев ( $\text{stress}=0,03$ ,  $R^2$  для первых двух осей ординации составляет 0,7 и 0,2 соответственно). Ординационная диаграмма демонстрирует наибольшие различия комплексов жесткокрылых брусники обыкновенной и голубики топяной (рис. 3). Различия подтверждают высокие достоверные результаты теста one-way ANOSIM как для всех консорциев в целом ( $R=0,988$ ,  $p=0,0001$ ), так и при их попарном сравнении (табл. 3). Кроме того, SIMPER тест также продемонстрировал высокий уровень различий между комплексами жесткокрылых и выявил виды, которые способствуют их гетерогенности (рис. 4). Наибольший вклад в различия между комплексами вносят виды, обладающие наиболее высокими средними показателями учетной плотности, такие как *Strophosoma capitatum*, *Lagria hirta*, *Athous subfuscus*, *Cryptocephalus labiatus* и *Psyllhora vigintiduopunctata* (в консорциях *Vaccinium myrtillus*), *Lochmaea suturalis* (в консорциях *Vaccinium vitis-idaea*), *Apion fulvipes*, *Corticarina gibbosa*, *Coccinella hieroglyphica* и *Aphthona euphorbiae* (в консорциях *Vaccinium uliginosum*).

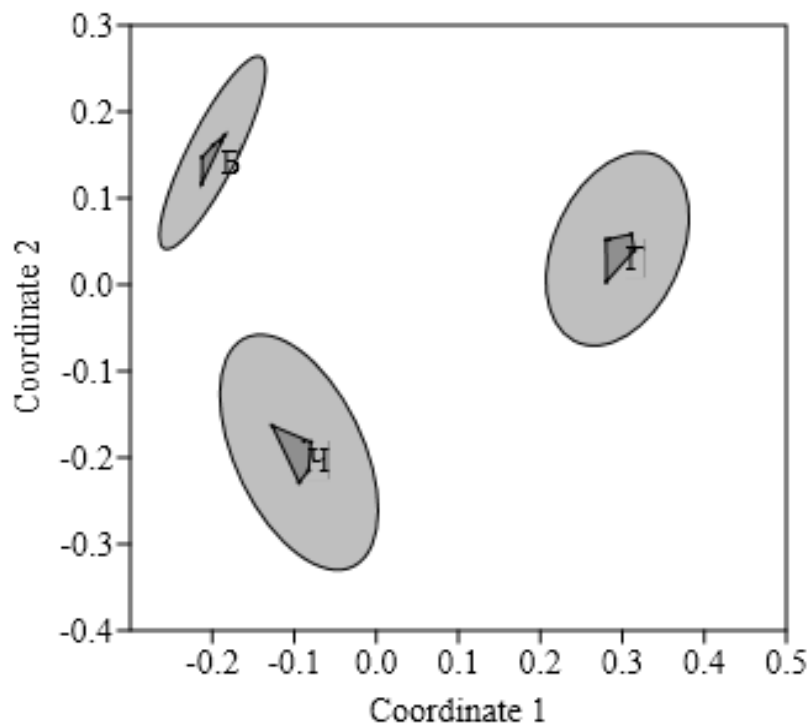


Рис. 4. Ординационная nMDS-диаграмма комплексов жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

Таблица 4

Результаты анализа сходства видового состава комплексов жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) на основе попарных сравнений с использованием теста one-way ANOSIM в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

Консорции	Р-уровень		
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Vaccinium uliginosum</i>
<i>Vaccinium myrtillus</i>	–	0,0282	0,0207
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0,0282	–	0,0252
<i>Vaccinium uliginosum</i>	0,0207	0,0252	–



Результаты анализа различий видового состава комплексов жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) на основе SIMPER теста в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

Вид	Сред- ний уровень разли- чия	Вклад в %	Кумулятив- ный вклад в %	Среднее число эк- земпляров в консорции <i>Vaccinium myrtillus</i>	Среднее число эк- земпляров в консорции <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Среднее число эк- земпляров в консорции <i>Vaccinium uliginosum</i>
<i>Strophosoma capitatum</i>	21,26	29,3	29,3	86,4	43,4	3
<i>Lagria hirta</i>	9,54	13,16	42,46	42,6	0,2	7,4
<i>Apion fulvipes</i>	5,94	8,19	50,65	1,2	0	21,6
<i>Chilocorus renipustulatus</i>	5,59	7,70	58,35	6,8	0,2	20
<i>Lochmaea suturalis</i>	5,20	7,16	65,52	4	22,6	7,4
<i>Athous subfuscus</i>	3,62	4,98	70,51	14,4	4,2	0
<i>Corticarina gibbosa</i>	2,82	3,89	74,4	1,4	0	10,2
<i>Coccinella hieroglyphica</i>	2,26	3,11	77,52	3	0	8
<i>Cryptocephalus labiatus</i>	1,66	2,29	79,81	8,4	1,8	3,8
<i>Psyllohora vigintiduopunctata</i>	1,47	2,02	81,84	6,4	0,6	0
<i>Aphthona euphorbiae</i>	1,42	1,96	83,81	2,6	0,8	5,6

Анализ главных компонент (PCA) позволил выявить виды, в наибольшей степени приуроченные к консорциям определенного типа. Следует отметить, что дисперсия первых двух осей ординации (главных компонент) составляет 56,70% и 22,47% соответственно. В частности, наибольшую связь с черникой обыкновенной продемонстрировали *Cryptocephalus labiatus*, *Strophosoma capitatum*, *Lagria hirta*, *Athous subfuscus* и *Psyllohora vigintiduopunctata*, с брусникой обыкновенной – только *Lochmaea suturalis*, с голубикой топяной наиболее выражена связь у *Apion fulvipes* и *Corticarina gibbosa* (рис. 5).

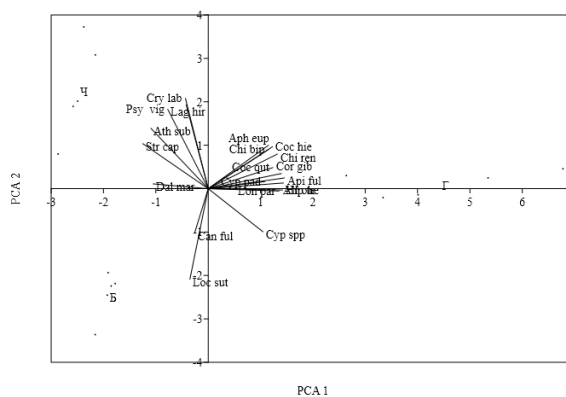


Рис. 5. Ординационная PCA-диаграмма комплексов жесткокрылых (Insecta: Coleoptera) в консорциях черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*) и голубики топяной (*Vaccinium uliginosum*) в Белорусском Поозерье

**Заключение.** Впервые в условиях Белорусского Поозерья выявлен таксономический состав комплексов жесткокрылых насекомых консорций черники обыкновенной, брусники обыкновенной и голубики топяной. Наибольшим видовым богатством жуков отличались консорции голубики топяной, наименьшим – брусники обыкновенной.

По показателям относительной численности, выраженной средней учетной плотностью выборочных совокупностей, достоверных различий не установлено, несмотря на более высокое число зарегистрированных особей в консорции *Vaccinium myrtillus*.

Консорции черники обыкновенной отличались наиболее высокими показателями альфа-разнообразия и выравниваемости видов по относительному обилию по сравнению с комплексами жесткокрылых остальных консорций, что связано с преобладанием в них ограниченного числа видов. При этом качественный состав доминирующих видов был различен.

Анализ бета-разнообразия показал отчетливые различия видового состава жуков трех исследуемых консорций, которые были наибольшими между колеоптерокомплексами *Vaccinium vitis-idaea* и *Vaccinium uliginosum*. Такая дифференциация обусловлена отдельными видами, обладающими наиболее высокими средними показателями учетной плотности. Большинство выявленных видов характеризуется высокой приуроченностью к определенному типу консорции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гельтман, В.С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В.С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1982. – 326 с.
2. Мазинг, В.В. Консорции как элементы функциональной структуры биоценозов / В.В. Мазинг // Труды Московского общества испытателей природы. – М., 1966. – С. 127–177.
3. Денисенков, В.П. Основы болотоведения / В.П. Денисенков. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2000. – 224 с.
4. Литвинова, А.Н. Насекомые сосновых лесов / А.Н. Литвинова, Т.П. Панкевич, Р.В. Молчанова. – Минск: Навука і тэхніка, 1985. – 152 с.
5. Sushko, G. Beetles (Coleoptera) of Raised Bogs in North-Western Belarus / G. Sushko // Baltic Journal of Coleopterology. – 2007. – Vol. 7, № 2. – P. 207–214.
6. Сушко, Г.Г. Современное состояние и эколого-таксономическая структура сообществ насекомых верховых болот Белорусского Поозерья / Г.Г. Сушко. – Минск: Изд-во БГУ, 2017. – 207 с.
7. Сушко, Г.Г. Насекомые в консорциях дикорастущих ягодников и других верескоцветных на верховых болотах Белорусского Поозерья / Г.Г. Сушко, В.В. Шкатуло // Вестн. Віцеб. дзярж. ун-та. – 2013. – № 3(75). – С. 50–61.
8. Sushko, G.G. Taxonomic composition and species diversity of insect assemblages in grass-shrub cover of peat bogs in Belarus / G.G. Sushko // Contemporary Problems of Ecology. – 2017. – Vol. 10, № 3. – P. 259–270.
9. Sushko, G.G. Diversity and species composition of beetles in the herb-shrub layer of a large isolated raised bog in Belarus / G.G. Sushko // Mires and Peat. – 2017. – Vol. 19, № 10. – P. 1–14.
10. Gotelli, N.J. Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data / N.J. Gotelli and A. Chao // Encyclopedia of Biodiversity / ed. S.A. Levin. – 2nd Edition. – New York: Elsevier, 2013. – Pp. 195–211.
11. Engelmann, H.D. Zur Dominanzklassifizierung von Bodenartropoden / H.D. Engelmann // Pedobiologia. – 1978. – Bd. 18, Hf. 5/6. – S. 378–380.
12. Anderson, M.J. PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions: what null hypothesis are you testing? / M.J. Anderson & D.C. Walsh // Ecological monographs. – 2013. – Vol. 83, № 4. – P. 557–574.

#### REFERENCES

1. Geltman V.S. *Geograficheski i tipologicheski analiz lesnoi rastitelnosti Belorussii* [Geographic and Typological Analysis of Forest Vegetation in Belarus], Minsk, Nauka i tekhnika, 1982, 326 p.
2. Masing V.V. *Trudi Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody* [Proceedings of Moscow Nature Explorers' Society]. M., 1966, pp. 127–177.
3. Denisenkov V.P. *Osnovi bolotovedeniya* [Basics of Marsh Studies], Spb., Izd-vo S.-Peterburgskogo universiteta, 2000, 224 p.
4. Litvinova A.N., Pankevich T.P., Molchanova R.V. *Nasekomiye sosnovykh lesov* [Insects of Pine Forests], Minsk, Navuka i tekhnika, 1985, 152 p.
5. Sushko, G. Beetles (Coleoptera) of Raised Bogs in North-Western Belarus / G. Sushko // Baltic Journal of Coleopterology. – 2007. – Vol. 7, № 2. – P. 207–214.
6. Sushko G.G. *Sovremennoye sostoyaniye i ekologo-taksonomicheskaya struktura soobshchestv nasekomykh verkhovykh bolot Belorusskogo Poوزيرiya* [Contemporary State and Ecological and Taxonomic Structure of Insect Consortia of Upper Bogs of Belarusian Poozeriye], Minsk, Izd-vo BGU, 2017, 207 p.
7. Sushko G.G., Shkatulo V.V. *Vestnik VGU* [Journal of VSU], 2013, 3(75), pp. 50–61.
8. Sushko G.G. Taxonomic composition and species diversity of insect assemblages in grass-shrub cover of peat bogs in Belarus / G.G. Sushko // Contemporary Problems of Ecology. – 2017. – Vol. 10, № 3. – P. 259–270.
9. Sushko G.G. Diversity and species composition of beetles in the herb-shrub layer of a large isolated raised bog in Belarus / G.G. Sushko // Mires and Peat. – 2017. – Vol. 19, № 10. – P. 1–14.
10. Gotelli N.J. and Chao A. Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling data // Encyclopedia of Biodiversity / ed. S.A. Levin. – 2nd Edition. – New York, Elsevier, pp. 195–211.
11. Engelmann, H.-D. Zur Dominanzklassifizierung von Bodenartropoden / H.-D. Engelmann // Pedobiologia. – 1978. – Bd. 18, Hf. 5/6. – S. 378–380.
12. Anderson, M.J., PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions: what null hypothesis are you testing? / M.J. Anderson & D.C. Walsh // Walsh Ecological monographs, 2013, 83(4), pp. 557–574.

Поступила в редакцию 14.01.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: ok.hohlwa-eco@yandex.by – Хохлова О.И.

## ВЛИЯНИЕ БИОМАССЫ ЛИШАЙНИКОВ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН КОРНЕПЛОДНЫХ КУЛЬТУР

О.М. Храмченкова

Учреждение образования «Гомельский государственный университет  
имени Ф. Скорины»

В настоящее время интерес к ростостимулирующим и аллелопатическим свойствам лишайниковых веществ возрос в связи с поиском биологических средств защиты растений и стимуляторов роста природного происхождения.

Цель исследования – изучение влияния биомассы лишайников гипогимнии вздутой, эвернии сливовой, ксантории настенной и кладонии лесной на прорастание и первичный рост проростков моркови посевной, свеклы обыкновенной и редиса.

**Материал и методы.** Интактную и измельченную биомассу лишайников *Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri*, *Cladonia arbuscula* и *Xanthoria parietina* использовали для предпосевного замачивания семян моркови посевной, свеклы обыкновенной и редиса. Обработанные семена корнеплодных культур проращивали общепринятым методом. Оценивали энергию прорастания, всхожесть, рост первичного корешка и проростка.

**Результаты и их обсуждение.** Реакция корнеплодных культур на предпосевную обработку суспензиями из биомассы лишайников проявлялась в виде увеличения или снижения энергии прорастания, всхожести, первичного роста корешков и побегов. Предпосевное замачивание семян моркови посевной в суспензиях из биомассы гипогимнии вздутой способствовало стимуляции роста культуры на 12,6÷17,3%. При использовании неизмельченной биомассы эвернии сливовой и ксантории настенной стимуляция роста моркови посевной составила 12,8% и 17,6% соответственно. Для свеклы обыкновенной установлено угнетающее действие биомассы изучаемых видов лишайников; для редиса – аллелопатическое воздействие измельченной биомассы эвернии сливовой и кладонии лесной.

**Заключение.** Результаты исследования свидетельствуют о существенном влиянии предпосевного замачивания семян в суспензиях из лишайников на прорастание корнеплодных культур. Дальнейшее изучение ростостимулирующих и аллелопатических свойств лишайниковых веществ позволит разработать экологически безопасные протравители семян и гербициды.

**Ключевые слова:** лишайники, предпосевная обработка семян, корнеплодные культуры, всхожесть, первичный корешок, проросток.

## LICHEN BIOMASS EFFECT ON THE SEED GERMINATION OF ROOT VEGETABLES

V.M. Khranchankova

Educational Establishment «Francisk Skorina Gomel State University»

Currently, interest in the growth-stimulating and allelopathic properties of lichen substances has increased in connection with the search for biological plant protection products and growth stimulants of natural origin.

The aim of the study is to assess the influence of the biomass of the lichens *Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri*, *Cladonia arbuscula* and *Xanthoria parietina* on germination and initial growth of seedlings of carrots, beets and radishes.

**Material and methods.** The intact and crushed biomass of the lichens *Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri*, *Cladonia arbuscula* and *Xanthoria parietina* was used for pre-sowing soaking of seeds of carrots, beets and radishes. The processed seeds of root crops were germinated by the conventional method. The energy of germination, germination, growth of the primary root and seedlings were evaluated.

**Findings and their discussion.** The reaction of root crops to presowing seed treatment with suspensions from lichen biomass was manifested in an increase or decrease in germination, primary growth of roots and seedlings. Presowing soaking of carrot seeds in suspensions from crushed and not crushed biomass *Hypogymnia physodes* contributed to the stimulation of culture growth by 12,6÷17,3%. When using non-ground biomass *Evernia prunastri* and *Xanthoria parietina* stimulation of the growth of carrots was 12,8% and 17,6%, respectively. For beetroot, the inhibitory effect of biomass of the studied lichen species was established; for radish – allelopathic effect of crushed biomass *Evernia prunastri* and *Cladonia arbuscula*.

**Conclusion.** The essential influence of presowing soaking of seeds in suspensions from lichens on germination of root crops is established. Further study of growth-stimulating and allelopathic properties of lichen substances will allow developing ecologically safe seed disinfectants and herbicides.

**Key words:** lichens, seed pre-treatment, root vegetables, germination, primary root, seedling.

Успехи современного растениеводства в значительной мере связаны с химизацией сельского хозяйства, в частности, с широким введением в практику применения различных способов химического воздействия на возделываемые растения. Предпосевная обработка семян включает технологии протравливания и использование стимуляторов роста. Однако вещества, входящие в состав многих применяемых пестицидов, являются экологически не вполне благополучными, в силу чего они отнесены к группе стойких органических загрязнителей. Многообразие химических методов вмешательства в основные физиологические процессы сельскохозяйственных растений породило задачу получения экологически чистой продукции. Среди наиболее интенсивно разрабатываемых направлений – поиск биологических средств защиты растений и стимуляторов роста природного происхождения.

В этом смысле одной из слабо разработанных областей знаний является прикладная биохимия лишайников, точнее – вторичных метаболитов лишайников. Среди причин, в какой-то мере объясняющих сложившуюся ситуацию, можно назвать следующие. Несмотря на повсеместную распространенность лишайников, в мире существует сравнительно небольшое количество локалитетов, где можно говорить о ресурсном запасе лишайниковой биомассы определенного вида. Промышленный сбор лишайников в природе означает уничтожение лишайнобиоты региона, так как эти организмы крайне медленно растут. В природе, как правило, обитают сообщества лишайников, включающие виды с наборами самых разнообразных вторичных метаболитов. Физиология лишайников, в том числе зависимости образования биологически активных веществ от влияния внутренних и внешних факторов, изучена недостаточно. Качественный и количественный состав лишайниковых веществ для определенных видов описан довольно фрагментарно. Наконец, характер взаимоотношений высших растений и лишайников далек от понимания.

В настоящее время во многих лабораториях мира получают все больше научных данных, характеризующих высокую биологическую активность лишайниковых веществ [1–3]. Более результативными являются исследования, посвященные медицинскому применению лишайников [4–6]. Вместе с тем существуют фундаментальные публикации, рассматривающие взаимоотношения лишайников и высших растений, гербицидное, фунгицидное и ростостимулирующее влияние лишайниковых веществ [7–9]. Получаемые результаты в перспективе могут послужить основой разработки принципиально новых химических средств обработки культурных растений. Преодоление упомянутых выше трудностей станет возможным после создания биотехнологий лишайников, нацеленных на продукцию определенных вторичных метаболитов. Данная задача пока что не решена, хотя очевидно главное: микобионт синтезирует вторичные метаболиты только в симбиозе с фотобионтом. В этой связи представляется актуальным широкий скрининг свойств как определенных «лишайниковых» веществ, так и биомассы лишайников, в том числе ее влияния на прорастание и первичный рост культурных растений. Извлечение полезных веществ из любого натурального материала неизбежно сопряжено с затратами, тогда как использование собственно биомассы лишайников существенно удешевляет процедуру предпосевной обработки семян.

Цель настоящей работы – исследование влияния биомассы лишайников на прорастание и первичный рост проростков корнеплодных культур.

**Материал и методы.** Изучали влияние предпосевной обработки семян корнеплодных культур суспензиями из интактной и измельченной биомассы четырех видов лишайников на всхожесть и первичный рост проростков. К исследованию были приняты распространенные на юго-востоке Беларуси виды лишайников: *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Syn. *Parmelia physodes* (L.) Ach.); *Evernia prunastri* (L.) Ach.; *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. и *Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot. (Syn. *Cladonia sylvatica* (L.) Hoffm.) [10]. Изучаемыми культурами являлись морковь посевная (*Daucus carota* subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang.) сорта «Аленка»; свекла обыкновенная (*Beta vulgaris* L.) сорта «Цилиндра» и редис (*Raphanus sativus* var. *radicula* Pers.) сорта «Илка».

Биомассу лишайников отбирали на территории Государственного лесохозяйственного учреждения «Гомельский лесхоз» на типичных для каждого вида субстратах [11]. Слоевища эпифитных видов (*Hypogymnia physodes*, *Evernia prunastri* и *Xanthoria parietina*) отбирали вместе с фрагментом субстрата (корки сосны обыкновенной, березы повислой и тополя черного, соответственно); эпигейный вид *Cladonia arbuscula* собирали на почве в сухом приспевающем сосняке. Массу лишайников отделяли от субстрата, у *Cladonia arbuscula* отбрасывали нижнюю часть подошвы – около 5 мм, сушили до воздушно-сухого состояния. Для опытов использовали интактную и измельченную биомассу упомянутых видов лишайников.

Предпосевная обработка семян корнеплодных культур биомассой лишайников заключалась в замачивании на одни сутки в водной суспензии, содержащей  $10 \cdot 10^{-5}$  г лишайников на 1 г семян. Контрольные образцы замачивали в воде. Семена подсушивали, после чего проращивали в пластиковых

контейнерах на фильтровальной бумаге при температуре  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  и переменном освещении в соответствии с [12]. Повторность опытов – пятикратная; количество семян в одном контейнере – 50.

В контейнерах семена раскладывали поверх трех слоев фильтровальной бумаги, для увлажнения среды проращивания использовали смесь Кнопа, разведенную водой в соотношении 1:10. В сроки, указанные в [12], определяли энергию прорастания и всхожесть семян (пятые и десятые сутки проращивания – для моркови посевной и свеклы обыкновенной; третьи и шестые сутки проращивания – для редиса), в день последнего учета измеряли длину главных зародышевых корешков и длину проростков. Проросшими считали семена с развитым главным зародышевым корешком размером более длины семени и сформировавшимся ростком, имеющим семядоли и хорошо развитый неповрежденный гипокотиль.

Данные обрабатывали с применением стандартного программного продукта Статистика 7.0.

**Результаты и их обсуждение.** Реакция семян и проростков корнеплодных культур на предпосевную обработку суспензиями из биомассы лишайников проявлялась в виде усиления или ослабления ростовых процессов; в ряде случаев достоверные отличия показателей роста между опытом и контролем отсутствовали (рис. 1–3).

Использование интактной биомассы лишайников в суспензиях для замачивания семян чаще приводило к повышению энергии прорастания семян корнеплодных культур или, по крайней мере, не снижало ее. При применении измельченной биомассы лишайников энергия прорастания семян в основном понижалась. Увеличение энергии прорастания семян отмечено для моркови посевной (*H. physodes*, на  $9,6 \div 25,2\%$ ); свеклы обыкновенной (*C. arbuscula*, на  $8,8 \div 11,6\%$ ); редиса (*H. physodes*, на  $2,8 \div 12,4\%$ ). Снижение энергии прорастания установлено для моркови посевной (*E. prunastri*, на  $28,9\%$ ; *C. arbuscula*, на  $23,5\%$ ); свеклы обыкновенной (*H. Physodes*, на  $43,2\%$ ; *E. Prunastri*, на  $20,8\%$ ; *X. Parietina*, на  $31,1\%$ ); редиса (*E. prunastri*, на  $29,9\%$ ; *C. arbuscula*, на  $79,7\%$ ).

Достоверное повышение всхожести семян выявлено всего в двух случаях: для моркови посевной (интактная биомасса *H. physodes* – на  $11,4\%$ ) и редиса (измельченная биомасса *H. physodes* – на  $15,5\%$ ) – рис. 1.

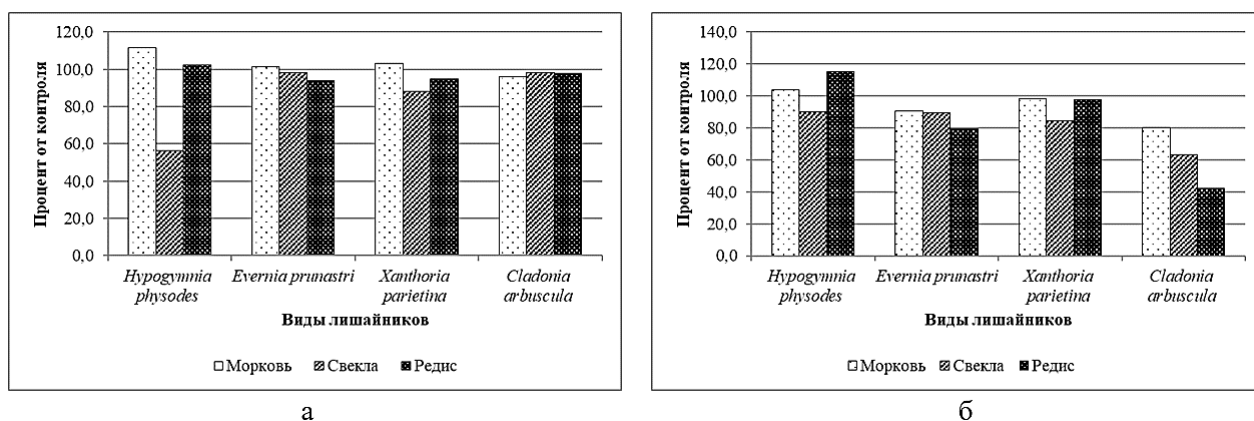
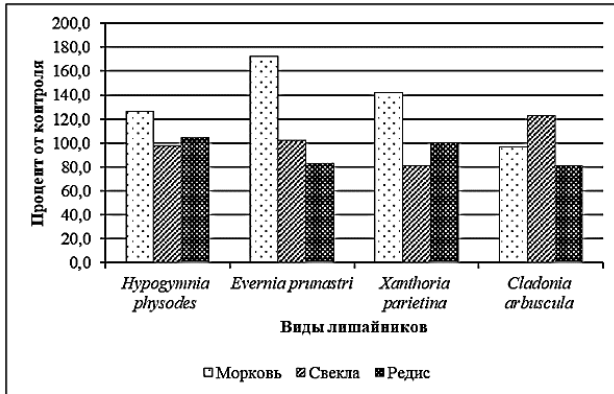


Рис. 1. Влияние интактной (а) и измельченной (б) биомассы лишайников на всхожесть семян корнеплодных культур

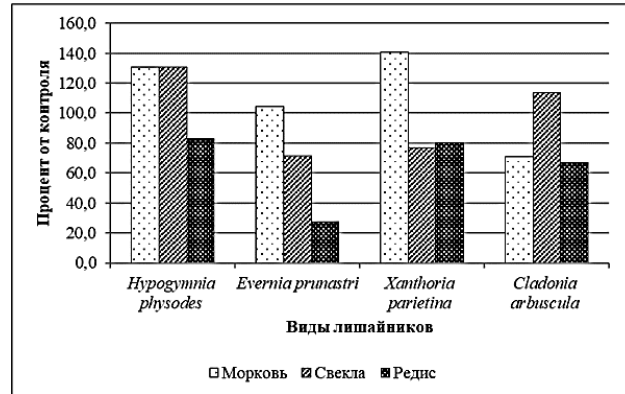
На  $36,6\%$  понижало всхожесть семян свеклы обыкновенной и на  $57,8\%$  редиса использование измельченной биомассы *C. arbuscula*. Требуется дальнейшего изучения, по-видимому, аллелопатическое влияние на прорастание семян овощных культур водорастворимых лишайниковых веществ. Во всех остальных опытах понижение всхожести семян было меньшим или отсутствовало.

Предпосевная обработка семян корнеплодных культур суспензиями из биомассы лишайников особенно существенно сказалась на первичном росте проростков – рис. 2 и 3.

При применении для суспензии замачивания интактной биомассы лишайников длина первичных корешков моркови посевной была больше контрольной на  $26,3\%$  (*H. physodes*);  $72,6\%$  (*E. prunastri*);  $42,4\%$  (*X. parietina*) и равна контрольным значениям (*C. arbuscula*). Первичные корешки свеклы обыкновенной были длиннее контрольных на  $22,8\%$  (*C. arbuscula*); равны им (*H. physodes* и *E. prunastri*); короче контрольных на  $19,3\%$  (*X. parietina*). Длина первичных корешков редиса была равна контрольным (*H. physodes* и *X. parietina*) или короче таковых на  $16,7 \div 19,3\%$  (*E. prunastri* и *C. arbuscula*) – рис. 2.



а



б

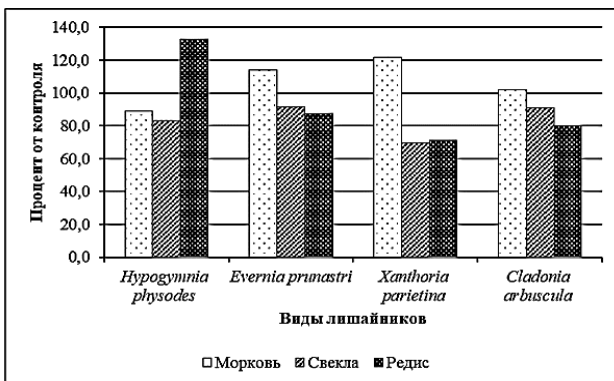
Рис. 2. Влияние интактной (а) и измельченной (б) биомассы лишайников на длину первичных корешков корнеплодных культур

В сериях опытов с использованием суспензий из измельченной биомассы лишайников стимуляция роста первичных корешков моркови посевной была обнаружена при воздействии *H. physodes* (30,7%) и *X. parietina* (40,6%); угнетение роста – для *C. arbuscula* (19,2%). Стимуляция роста корешков свеклы обыкновенной установлена при применении биомассы *H. physodes* (30,5%) и *C. arbuscula* (13,8%). При воздействии биомассы *E. prunastri* и *X. parietina* рост корешков снижался – на 28,7% и 23,3%, соответственно. Рост первичных корешков редиса подавлялся на 20% (*H. physodes* и *X. parietina*); 33% (*C. arbuscula*) и 72,4% (*E. prunastri*).

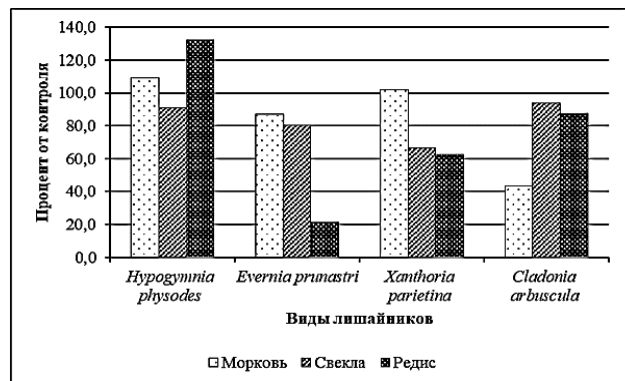
Рост проростков корнеплодных культур чаще всего подавлялся (рис. 3). При использовании для суспензии замачивания интактной биомассы лишайников особенно сильно угнетался рост проростков свеклы обыкновенной и редиса – 69,7% и 71,2% от контроля (*X. parietina*). В сериях опытов с применением измельченной биомассы лишайников длина проростков моркови посевной была короче контрольных на 56,8% (*C. arbuscula*); свеклы обыкновенной – на 33,7% (*X. parietina*); редиса – на 78,7% (*E. prunastri*).

Имели место эффекты усиления роста проростков корнеплодных культур. При использовании неизмельченной биомассы лишайников проростки моркови посевной были длиннее контрольных на 13,9÷21,8% (*E. prunastri* и *X. parietina*); редиса – на 32,9% (*H. physodes*). При применении измельченной биомассы лишайников проростки моркови посевной были длиннее контрольных на 9,3%; редиса – на 32,1% (*H. physodes*).

Если принять в качестве рабочего ограничения то, что о стимуляции прорастания корнеплодных культур предпосевной обработкой семян суспензиями из биомассы лишайников можно говорить только, если показатели всхожести и первичного роста проростков в сумме выше контрольных значений, тогда можно выделить следующие результаты.



а



б

Рис. 3. Влияние интактной (а) и измельченной (б) биомассы лишайников на длину первичных побегов корнеплодных культур

Предпосевное замачивание семян моркови посевной в суспензиях из измельченной и неизмельченной биомассы *H. physodes* способствует стимуляции роста культуры на 12,6÷17,3%. При использовании неизмельченной биомассы *E. prunastri* и *X. parietina* стимуляция роста моркови посевной составила 12,8% и 17,6%, соответственно.

Снижение суммы основных показателей всхожести и первичного роста культур под действием предпосевного воздействия биомассы лишайников более чем на 50% свидетельствует о наличии аллелопатии. Аллелопатическое влияние измельченной биомассы *E. prunastri* и *C. arbuscula* установлено в отношении всходов редиса.

**Заключение.** Таким образом, изучалось влияние предпосевной обработки семян моркови посевной сорта «Аленка», свеклы обыкновенной сорта «Цилиндра» и редиса сорта «Илка» суспензиями из интактной и измельченной биомассы лишайников гипогимнии вздутой, эвернии сливовой, ксантории настенной и кладонии лесной на всхожесть и первичный рост проростков. Обнаружены эффекты повышения и понижения энергии прорастания и всхожести семян корнеплодных культур, а также стимулирующее и угнетающее действие лишайников на рост первичных корешков и побегов. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования лишайников в качестве пестицидов. Применение биомассы лишайников в технологиях возделывания культурных растений может послужить основой разработки новых экологически безопасных протравителей семян. Дальнейшее изучение аллелопатических свойств лишайниковых веществ перспективно при разработке нетоксичных гербицидов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Recent Advances in Lichenology: in 2 vol. / ed.: D.K. Upreti [et al.]. – New Delhi: Springer, 2015. – Vol. 2. – XV, 265 p.
2. Shukla, V. Lichens as a potential natural source of bioactive compounds: a review / V. Shukla, G.P. Joshi, M.S. Rawat // *Phytochemistry Reviews*. – 2010. – Vol. 9, iss. 2. – P. 303–314.
3. Molnár, K. Current Results on Biological Activities of Lichen Secondary Metabolites: a Review // K. Molnár, E. Farkas // *Z. Naturforsch.* – 2010. – Vol. 65 c. – P. 157–173.
4. Ranković, B. Lichen Secondary Metabolites: Bioactive Properties and Pharmaceutical Potential / B. Ranković. – Heidelberg: Springer, 2015. – 201 p.
5. Shrestha, G. Lichens: a promising source of antibiotic and anticancer drugs / G. Shrestha, L.L.S. Clair // *Phytochemistry reviews*. – 2013. – Vol. 12, iss. 1. – P. 229–244.
6. Bhattacharyya, S. Lichen Secondary Metabolites and Its Biological Activity / S. Bhattacharyya, P.R. Deep, S. Singh, B. Nayak // *Am. J. PharmTech Res.* – 2016. – Vol. 6, iss. 6. – P. 29–44.
7. Favero-Longo, S.E. Lichen-plant interactions / S.E. Favero-Longo, R. Piervittori // *Journal of Plant Interactions*. – 2010. – Vol. 5, iss. 3. – P. 163–177.
8. Aydin, S. Influence of Some *Cladonia* Lichens on Plant Pathogenic Bacteria and Copper Reducing Antioxidant Capacity Activities / S. Aydin, B.B. Sokmen, K. Kinalioglu // *Cumhuriyet Sci. J.* – 2017. – Vol. 38, iss. 4. – P. 105–114.
9. Karabulut, G. Antifungal activity of *Evernia prunastri*, *Parmelia sulcata*, *Pseudevernia furfuracea* var. *furfuracea* / G. Karabulut, S. Ozturk // *Pak. J. Bot.* – 2015. – Vol. 47, iss. 4. – P. 1575–1579.
10. Tsurikau, A. Lichens from Gomel region: a provisional checklist [Gomelio regiono kerpės – pirminis sąrašas] / A.Tsurikau, V. Khramchenkova // *Bot. Lith.* – 2011. – Vol. 17, iss. 4. – P. 157–163.
11. Цуриков, А.Г. Лишайники юго-востока Беларуси (опыт лишеномониторинга) / А.Г. Цуриков. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – 276 с.
12. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Госкомитет СССР по стандартам. – М., 1985. – 64 с.

## REFERENCES

1. Recent Advances in Lichenology: in 2 vol. / ed.: D.K. Upreti [et al.]. – New Delhi: Springer, 2015. – Vol. 2. – XV, 265 p.
2. Shukla, V. Lichens as a potential natural source of bioactive compounds: a review / V. Shukla, G.P. Joshi, M.S. Rawat // *Phytochemistry Reviews*. – 2010. – Vol. 9, iss. 2. – P. 303–314.
3. Molnár, K. Current Results on Biological Activities of Lichen Secondary Metabolites: a Review // K. Molnár, E. Farkas // *Z. Naturforsch.* – 2010. – Vol. 65 c. – P. 157–173.
4. Ranković, B. Lichen Secondary Metabolites: Bioactive Properties and Pharmaceutical Potential / B. Ranković. – Heidelberg: Springer, 2015. – 201 p.
5. Shrestha, G. Lichens: a promising source of antibiotic and anticancer drugs / G. Shrestha, L.L.S. Clair // *Phytochemistry reviews*. – 2013. – Vol. 12, iss. 1. – P. 229–244.
6. Bhattacharyya, S. Lichen Secondary Metabolites and Its Biological Activity / S. Bhattacharyya, P.R. Deep, S. Singh, B. Nayak // *Am. J. PharmTech Res.* – 2016. – Vol. 6, iss. 6. – P. 29–44.
7. Favero-Longo, S.E. Lichen-plant interactions / S.E. Favero-Longo, R. Piervittori // *Journal of Plant Interactions*. – 2010. – Vol. 5, iss. 3. – P. 163–177.
8. Aydin, S. Influence of Some *Cladonia* Lichens on Plant Pathogenic Bacteria and Copper Reducing Antioxidant Capacity Activities / S. Aydin, B.B. Sokmen, K. Kinalioglu // *Cumhuriyet Sci. J.* – 2017. – Vol. 38, iss. 4. – P. 105–114.
9. Karabulut, G. Antifungal activity of *Evernia prunastri*, *Parmelia sulcata*, *Pseudevernia furfuracea* var. *furfuracea* / G. Karabulut, S. Ozturk // *Pak. J. Bot.* – 2015. – Vol. 47, iss. 4. – P. 1575–1579.
10. Tsurikau, A. Lichens from Gomel region: a provisional checklist [Gomelio regiono kerpės – pirminis sąrašas] / A.Tsurikau, V. Khramchenkova // *Bot. Lith.* – 2011. – Vol. 17, iss. 4. – P. 157–163.
11. Tsurikov A.G. *Lishainiki yugo-vostoka Belarusi (opyt likhenomonitoringa)* [Lichens of the South-East of Belarus (Lichen Monitoring Experience)], Gomel, GGU im. F. Skorini, 2013, 276 p.
12. ГОСТ 12038–84. *Semena selskokhoziaistvennykh kultur. Metody opredeleniya vskhozhesti. Goskomitet SSSR po standartam* [Agricultural Seeds. Methods of Germination Identification. The USSR State Standards Committee], M., 1985, 64 p.

Поступила в редакцию 04.09.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: hramchenkova@gsu.by – Храмченкова О.М.



# ПЕДАГОГІКА

УДК 378.14-057.87:004

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА СТУДЕНТОВ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Н.Д. Адаменко, Е.А. Корчевская, Л.В. Маркова

Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»

*Стремительное развитие информационных технологий и их активное внедрение в образовательный процесс привели к появлению новых методик и средств обучения, наибольшее распространение среди которых получило обучение с помощью интернет-технологий.*

*Цель исследования – анализ педагогического опыта подготовки специалистов ИТ-отрасли на факультете математики и информационных технологий ВГУ имени П.М. Машерова для совершенствования методического обеспечения дисциплин, изучаемых студентами специальностей «Прикладная математика», «Прикладная информатика» и «Программное обеспечение информационных-технологий».*

**Материал и методы.** *В качестве материала были выделены разделы вычислительной математики: методы алгебры, методы численного анализа, методы математической физики, а также дисциплины «Модели данных и СУБД», «Методы алгоритмизации и программирования» и «Методы искусственного интеллекта». Для проведения исследования использованы методы общенаучного характера: наблюдение, анализ, синтез, обобщение, сравнение.*

**Результаты и их обсуждение.** *Проанализированы основные направления применения компьютерных средств обучения при подготовке студентов ИТ-специальностей. Показаны необходимость и возможность адаптации электронных учебных курсов для мобильных устройств.*

**Заключение.** *Следовательно, для эффективной организации учебного процесса необходимо создавать виртуальную среду обучения, которая обеспечивает более полный формат представления учебного материала, в том числе с помощью мобильных приложений; предоставляет возможность выбора каждым студентом индивидуального графика изучения материала, тренинга и самоконтроля.*

**Ключевые слова:** *компьютерные средства обучения, эффективность учебного процесса, интернет-технологии.*

## PRACTICAL ISSUES OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRAINING IT-STUDENTS

N.D. Adamenko, E.A. Korchevskaya, L.V. Markova

Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

*The rapid development of information technologies and their active implementation into the educational process has resulted in new methods and teaching tools. The most common among them is training with the help of Internet technologies.*



*The purpose of the study is to analyze the pedagogical experience of training specialists in the IT industry at the Faculty of Mathematics and Information Technologies of Vitebsk State P.M. Masherov University to improve the methodological support of the disciplines studied by Applied Mathematics and Applied Informatics and Software of Information Technologies students.*

**Material and methods.** *Such research material as disciplines of computational mathematics: methods of algebra, methods of numerical analysis, methods of mathematical physics, as well as the discipline «Data models and DBMS», «Methods of algorithm presentation and programming» and «Methods of artificial intelligence» were singled out. To reach the goal of the study the following general logic methods were used: observation, analysis and synthesis methods, generalization of the pedagogical experience, the comparison method.*

**Findings and their discussion.** *The main directions of the use of computer learning tools in teaching IT-students are analyzed. The necessity and possibility of adjustment of e-learning courses for mobile devices is shown.*

**Conclusion.** *The article proves that in order to achieve effective organization of the academic process, it is necessary to create virtual educational environment that provides a more complete presentation of educational material, including mobile learning applications; enables each student to choose his individual schedule of education and self-control; and that includes the system of diagnostic, control and correction of students knowledge.*

**Key words:** *computer teaching tools, the effectiveness of the educational process, Internet technology.*

**Д**ля системы высшего образования важной задачей является высокий уровень эффективности учебного процесса. Качество образования напрямую связано с используемыми средствами обучения. Стремительное развитие информационных технологий и их активное внедрение в образовательный процесс привели к появлению новых методик и средств обучения [1]. Из них наибольшее распространение получили электронные версии учебных материалов и обучение с помощью интернет-технологий, позволяющее применять современные методы общения, обмена данными и компьютерные средства обучения (КСО). Под компьютерным средством обучения понимают программный или программно-технический комплекс, предназначенный для решения определенных педагогических задач, имеющий предметное содержание и ориентированный на взаимодействие с обучаемым. КСО – это в первую очередь электронные конспекты, методические материалы и пособия, энциклопедии, тестовые системы, системы дистанционного обучения и web-сервисы.

Цель исследования – обобщение и анализ педагогического опыта подготовки специалистов IT-отрасли на факультете математики и информационных технологий ВГУ имени П.М. Машерова для совершенствования методического обеспечения дисциплин, изучаемых студентами специальностей «Прикладная математика», «Прикладная информатика» и «Программное обеспечение информационных технологий».

**Материал и методы.** В качестве материала были выделены разделы вычислительной математики: методы алгебры, методы численного анализа, методы математической физики, а также дисциплины «Модели данных и СУБД», «Программирование», «Методы алгоритмизации и программирования» и «Методы искусственного интеллекта». Для проведения исследования использованы методы общенаучного характера: наблюдение, анализ, синтез, обобщение, сравнение.

**Результаты и их обсуждение.** В настоящее время в высших учебных заведениях Беларуси продолжает активно развиваться e-learning – электронное обучение как форма образовательного процесса. Простейшим средством обучения в этом случае выступают электронные методические материалы, которые оформляются в виде текстовых или текстово-графических документов и являются наглядным пособием по выполнению и оформлению лабораторно-практических работ. Эти материалы могут применяться в ходе проведения практических занятий, для самостоятельной работы, контролируемой преподавателем, а также для самостоятельного изучения студентами. Для дисциплин «Методы численного анализа» и «Методы вычислений» были созданы методические материалы, описывающие методы решения обыкновенных дифференциальных и интегральных уравнений, методы аппроксимации и приближения функций, методы приближенного вычисления интегралов и другие вычислительные методы [2]. Структурно методические материалы состоят из трех частей. В теоретической части в краткой форме излагаются основы изучаемой темы. Практическая часть содержит рекомендации, которые определяют порядок действий при решении задач изучаемого класса. Обязательным является наличие примеров, иллюстрирующих предлагаемую методику. Третья часть представляет собой 15 вариантов заданий для самостоятельного выполнения.

Методические материалы размещались в локальной сети университета имени П.М. Машерова, что позволило преподавателям отказаться от тиражирования методических разработок к каждому

занятию. Использование этих материалов студентами факультета математики и информационных технологий на протяжении нескольких лет привело к возможности уменьшения количества аудиторных часов для лабораторных занятий по дисциплинам вычислительной математики, а также позволило повысить текущую успеваемость студентов, которая характеризовалась цифрами промежуточной аттестации.

Электронный практикум по дисциплине «Модели данных и СУБД» включает в себя подробные рекомендации по созданию объектов базы данных, набор постоянно обновляемых практических заданий, а также 25 вариантов индивидуальных заданий, работа над которыми формирует у студентов навыки создания информационно-поисковых систем в реальных условиях.

Следующим по сложности создания и использования является электронное учебное пособие, т.е. программный комплекс, который может содержать лекционные материалы по предмету, практикум для закрепления навыков решения задач по данному курсу, глоссарий, видеоматериалы, базу тестовых вопросов, приложения с результирующей контрольной работой и т.д. Электронное учебное пособие было создано по дисциплине «Численные методы математической физики» для специальности «Прикладная математика». При его написании соблюдены требования к обязательному минимуму содержания учебной программы указанной дисциплины, которая разработана в соответствии с типовым учебным планом и образовательным стандартом высшего образования по специальности «Прикладная математика». В данном учебном пособии рассматриваются следующие темы: математическое моделирование и вычислительный эксперимент, основные понятия теории разностных схем, разностные схемы для стационарных уравнений, разностные схемы для нестационарных уравнений, решение разностных уравнений второго порядка методом Фурье, построение разностных схем интегро-интерполяционным методом, метод конечных элементов для решения задач математической физики. Материал каждой темы дополнительно разбит на параграфы для более подробного изучения различных методов решения задач математической физики. После каждого параграфа имеются вопросы для самоконтроля. В электронном пособии также приведены примеры, демонстрирующие методы решения задач математической физики и flash-анимации, наглядно иллюстрирующие тот или иной физический процесс. В конце учебного пособия размещены практические задания по соответствующим темам, в каждом из которых по 12 вариантов заданий.

Дальнейшее развитие электронное обучение на факультете математики и информационных технологий проявило себя через применение модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды – Moodle [3]. Являясь инструментальной средой для разработки онлайн-курсов, Moodle предлагает широкий спектр возможностей для эффективной организации процесса обучения, в том числе и в дистанционной среде – разнообразные способы представления учебного материала, проверки знаний и контроля успеваемости. Накопленный методический материал послужил основой для создания в среде Moodle учебных курсов по дисциплинам вычислительной математики, «Модели данных и СУБД», «Программирование» и «Методы искусственного интеллекта».

Структура курсов представлена в модульной форме. Каждый модуль содержит теоретический материал в виде лекций или презентаций, лабораторный практикум и материалы для контроля и самоконтроля. Форма контроля варьируется от простых вопросов, индивидуальных заданий, контрольных работ до сложно организованных тестов.

Так, дисциплина «Модели данных и СУБД» включает два модуля, в каждом из которых содержатся постоянно актуализируемый теоретический материал и средства контроля его усвоения, представленные в следующих формах: интерактивные лекции, тесты для текущего и итогового контроля, а также задания, обеспечивающие проверку готовности к выполнению лабораторных работ.

Курс «Методы искусственного интеллекта» состоит из пяти модулей, каждый из которых кроме презентаций содержит видеолекции по рассматриваемой тематике. Ключевым преимуществом таких лекций является видеоряд, обеспечивающий наглядность и, следовательно, более легкое и полное усвоение материала. Кроме того, видеолекции воспринимаются как на слух, так и визуально, что весьма эффективно для процесса обучения.

Наличие внутренней почты Moodle внесло динамичность и оперативность в процесс общения преподавателей со студентами, добавив новые формы организации консультирования и контроля самостоятельной работы студентов. Работа над индивидуальными заданиями и особенно над курсо-

выми проектами стала интерактивной. Таким образом, Moodle позволяет каждому студенту создавать свое собственное образовательное пространство и самостоятельно планировать время подготовки к занятиям.

В связи с переходом на новые образовательные стандарты произошло значительное сокращение количества аудиторных часов и возросла роль самостоятельной внеаудиторной работы студентов. Это потребовало и новых компьютерных средств обучения, т.к. важно не только уменьшить сроки обучения, но и донести до студентов требуемые объемы информации, не понизив при этом качества обучения. Были разработаны и внедрены в учебный процесс электронные методические комплексы (ЭУМК) по следующим дисциплинам: «Вычислительные методы алгебры», «Методы численного анализа», «Методы вычислений», «Базы данных», «Модели данных и СУБД». Эти ЭУМК созданы в системе дистанционного обучения ВГУ имени П.М. Машерова на основе виртуальной среды Moodle.

Содержательное наполнение методических комплексов происходило за счет модификации ранее разработанных модулей, к которым были добавлены нормативные документы, справочные и вспомогательные элементы. Например, ЭУМК по дисциплинам «Модели данных и СУБД» и «Базы данных» содержат учебные программы дисциплин, интерактивные лекции с элементами тестового контроля усвоения базовых понятий, обучающие и контрольные тестовые задания, перечень тем, заданий и вопросов для самостоятельного выполнения, модули диагностики и коммуникации студентов и преподавателей. Эти электронные комплексы выгодно отличаются от традиционных средств обучения, т.к. предоставляют возможности

- применения в образовательном процессе практически всех видов мультимедийного контента (графики, анимации, аудио и видео);
- накопления и систематизации большого объема информации, полезной для изучения дисциплины;
- четкого планирования учебного процесса и управления курсом в соответствии с требованиями учебной программы, а также образовательного стандарта по соответствующей специальности;
- интерактивного взаимодействия преподавателей и студентов в синхронном и асинхронном режиме (Форум Преподаватель студент);
- постоянной модернизации электронного комплекса в режиме online при любой необходимости, в том числе при изменениях в учебной программе дисциплины.

Представленные выше КСО в полной мере выполняют задачу получения студентами предметных знаний и приобретения практического опыта по решению типовых задач. При наличии интернет-доступа студенты факультета математики и информационных технологий имеют возможность в любое время суток воспользоваться всеми ресурсами созданных ЭУМК. Однако процесс приобретения знаний носит поступательный характер, поэтому на определенном этапе, как правило, студент предпочитает иметь свой собственный конечный продукт. Учитывая скорость распространения мобильных устройств и их возрастающую популярность как средств обучения, а также необходимость адаптации ЭУМК под мобильные устройства, на первый план среди КСО выходят приложения для смартфона. Такие web-приложения представляют собой распределенные программные системы, имеющие целый ряд особенностей, которые накладывают отпечаток на процессы их функционирования, разработки и поддержки. От этих приложений требуется кроссбраузерность, вытекающая из различной реализации браузерами стандартов HTML, CSS и DOM.

Для поддержки курсов по вычислительной математике было создано web-приложение «WebMatematika» [4]. В него входят теоретические основы и методические рекомендации по следующим разделам: методы решения нелинейных уравнений, систем нелинейных уравнений, интерполяции функций, численного интегрирования, решения дифференциальных уравнений и систем таких уравнений. Интерфейс приложения имеет постраничную архитектуру с системой горизонтальных, вертикальных и выпадающих меню, использование которых является прозрачным и интуитивно понятным. Для создания данного web-приложения использовались объектно-ориентированный язык программирования Java, фреймворк Spring, JQuery, HTML, CSS и среда программирования IDE IntelliJ IDEA 2017.1. Приложение доступно для любого мобильного устройства с операционной системой Android.

Разработка методического обеспечения курса является одной из основных обязанностей преподавателя и полностью зависит от его квалификации. Появление и развитие компьютерных средств обучения потребовало от преподавателя знания современных информационных технологий. Причем уровень подготовки преподавателя в этом плане должен соответствовать уровню подготовки студента или значительно его превосходить. Эта задача становится достаточно сложной в случае подготовки IT-специалистов. Выход мы видим в том, чтобы активно привлекать студентов старших курсов к разработке КСО. Особенно это касается специальности «Прикладная математика», выпускники которой получают квалификацию «Преподаватель математики и информатики». Так, приложение «WebMatematika» является наглядным примером web-проекта, написанного с применением различного рода технологий разработки программного обеспечения и объектно-ориентированного программирования, поэтому его реализация была предложена в качестве задания для дипломной работы студенту выпускного курса специальности «Прикладная математика». Студент успешно справился с поставленной задачей и, учитывая, что создание web-приложений сегодня является одним из перспективных направлений деятельности для многих компаний, занятых в сфере высокотехнологичных цифровых и компьютерных технологий, получил практические навыки одного из возможных вариантов разработки подобного вида приложений.

**Заключение.** Анализ проведенных исследований показал, что для эффективной организации учебного процесса необходимо создавать виртуальную среду обучения как особый коммуникационный механизм, который

- использует более полный формат представления учебного материала, в том числе с помощью приложений;
- предоставляет возможность выбора каждым студентом индивидуального графика изучения материала, тренинга и самоконтроля;
- имеет систему диагностики, коррекции и контроля знаний студентов.

При этом преподаватель должен постоянно совершенствовать свою подготовку в области применения компьютерных технологий, активно привлекая к сотрудничеству мотивированных студентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маркова, Л.В. Профессиональная ориентация учебного процесса современной высшей школы / Л.В. Маркова, Н.Д. Адаменко // Альманах мировой науки. – 2016. – № 3-2(6): Наука и образование в XXI веке: по материалам междунар. науч.-практ. конф., 31.03.2016: в 8 ч. – М.: «АР-Консалт», 2016. – Ч. 2. – С. 6–9.
2. Маркова, Л.В. Методы вычислений: метод. рекомендации / Л.В. Маркова, А.Н. Красоткина. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2014. – 50 с.
3. Анисимов, А.М. Работа в системе дистанционного обучения Moodle: учеб. пособие / А.М. Анисимов. – Харьков, ХНАГХ, 2008. – 275 с.
4. Корчевская, Е.А. Разработка и использование электронных средств обучения по вычислительной математике / Е.А. Корчевская, Л.В. Маркова // Сборник материалов IV Междунар. науч. конф. «Математическое и компьютерное моделирование», Омск, 11 нояб. 2016 г. – С. 94–95.

#### REFERENCES

1. Markova L.V., Adamenko N.D. *Almanakh mirovoi nauki, 2016, 3-2(6), Nauka i obrazovaniye v XXI veke: po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 31.03.2016, v 8 chastiakh, Chast 2* [Almanac of World Science, 2016, 3-2(6). Science and Education in the XXI Century: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 03/31/2016, in 8 Parts, Part 2], M., «AR-Consult», 2016, pp. 6–9.
2. Markova L.V., Krasotkina A.N. *Metody vychisleni. Metodicheskiye rekomendatsii* [Calculation Methods. Methodological Guidelines], Vitebsk, VGU imeni P. Masherova, 2014, 50 p.
3. Anisimov A.M. *Rabota v sisteme distantsionnogo obucheniya Moodle. Uchebnoye posobiye* [Work in the System of Distance Training of Moodle. Textbook], Kharkov, KNAME, 2008, 275 p.
4. Korchevskaya E.A., Markova L.V. *Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Matematicheskoye i kompyuternoye modelirovaniye», Omsk, 11 noyabrya* [Proceedings of the IV International Scientific Conference «Mathematical and Computer Modeling», Omsk, November 11], 2016, pp. 94–95.

Поступила в редакцию 31.01.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: adamenko\_n@tut.by – Адаменко Н.Д.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ У СТАРШЕКЛАССНИКОВ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ ИСТОРИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

В.И. Турковский, Н.И. Бумаженко, М.В. Швед

Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»

*Процесс изучения истории учащимися вспомогательных школ предполагает усвоение фактического материала, который зачастую не поддается наблюдению в современных условиях. Поэтому для формирования представлений о каком-либо историческом факте необходимы ассоциативные связи с имеющимися у учащихся представлениями о современных событиях и явлениях.*

*Цель статьи – экспериментальное обоснование необходимости визуализации учебного материала при формировании исторических представлений у учащихся с интеллектуальной недостаточностью.*

**Материал и методы.** Исследование проводилось на базе ГУО «Вспомогательная школа № 26 г. Витебска» с участием 14 старшеклассников. Респондентам был предложен диагностический комплекс, разработанный на основе требований государственного образовательного стандарта и программ для учащихся с интеллектуальной недостаточностью.

**Результаты и их обсуждение.** Экспериментально выявлены особенности формирования исторических представлений у старшеклассников ГУО «Вспомогательная школа № 26 г. Витебска»: исторические и краеведческие представления являются фрагментарными, непрочными и недифференцированными; школьники испытывают трудности в самостоятельном воспроизведении ранее изученных исторических знаний; часто встречается смещение исторических представлений, выражающееся в произвольном переносе лиц, событий, явлений в пространстве и времени. Установлено, что существует необходимость специально организованной педагогической деятельности по формированию исторических представлений на местном материале, в том числе в рамках внеклассной работы.

**Заключение.** В качестве оптимальной формы организации внешкольной воспитательной работы авторами разработан и апробирован цикл экскурсий, визуализирующий исторические знания, представления и мотивирующий на изучение родного края.

**Ключевые слова:** исторические представления, исторические знания, учащиеся с интеллектуальной недостаточностью.

## INTELLECTUALLY DISABLED HIGH SCHOOL STUDENTS' IDEAS OF HISTORY

V.I. Turkovsky, N.I. Bumazhenko, M.V. Shved

Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

*The process of studying History by special school students of involves the assimilation of factual material, which is often not observable in modern conditions. Therefore, in order to form ideas about a historical fact, associative links with students' ideas about contemporary events and phenomena are necessary.*

*The purpose of the article is experimental substantiation of the necessity to visualize the academic material while shaping intellectually disabled high school students' historical ideas.*

**Material and methods.** The study of the level of shaping historical ideas among high school students with intellectual disabilities was conducted on the basis of the Educational Establishment «Auxiliary School No. 26 of the City of Vitebsk». The total number of students involved in the study was 14. For the study, a diagnostic complex was developed consisting of assignments based on the requirements of the State Academic Standard and curricula for students with intellectual disabilities.

**Findings and their discussion.** Peculiarities of shaping historical ideas among high school students of the Educational Establishment «Secondary school number 26 of the City of Vitebsk» were experimentally revealed. The results of the study showed that historical and local lore ideas are fragmentary, fragile and undifferentiated; schoolchildren have difficulty in independently reproducing previously studied historical knowledge; a shift of historical ideas is common which is expressed in arbitrary transfer

*of persons, events and phenomena in space and time. It is found out that a specially organized pedagogical activity on shaping historical ideas on the basis of local material, including extracurricular classes, is necessary.*

**Conclusion.** *As an optimal form of extracurricular education we have elaborated and tested a cycle of excursions which visualize historical knowledge and ideas and motivate students to study their homeland.*

**Key words:** *historical ideas, historical knowledge, students with intellectual disabilities.*

**И**зучение истории Беларуси во вспомогательной школе способствует подготовке детей с интеллектуальной недостаточностью к осознанному участию в общественной жизни и является средством их социальной адаптации. Начальный курс истории Беларуси знакомит с важными историческими событиями, жизнью на современном этапе и обеспечивает рост гражданского самосознания.

Спецификой формирования исторических знаний и представлений у учащихся вспомогательной школы занимались Н.М. Амосович, Н.П. Долгобородова, Ю.Ф. Кузнецов, И.И. Логинов, Л.В. Петрова, Б.П. Пузанов. Авторы доказали, что формирование исторических представлений является важным звеном в коррекции умственного развития данной категории детей. Знания о способах действия способствуют развитию когнитивной функции и являются базисом формирования умений и навыков [1–3]. Историческое образование обучающихся, в том числе и с особенностями психофизического развития, невозможно без основных знаний, концентрирующих в себе весь опыт предыдущих поколений. Именно на этом компоненте построено понимание вариативности, противоречивости, сложности событий и явлений, происходящих в современном обществе, что способствует формированию мировоззрения. Изучение истории помогает учащимся осмыслить события в пространственно-временном и общественно-историческом диапазоне через эмоционально окрашенные образы и представления. А.И. Капустин, В.Г. Петрова, Ж.И. Шир считали, что учащихся с интеллектуальной недостаточностью отличает особая склонность к чувственному познанию мира. Общеизвестным является и тот факт, что возможности сенсорной сферы данной категории детей намного обширнее, нежели познавательный потенциал. Вышесказанное должно учитываться при организации образовательного процесса вспомогательной школы, в том числе на уроках истории. Знакомя с общественными отношениями различных эпох, учитель должен вызвать у воспитанников позитивные зрительные, слуховые, осязательные ощущения, т.к. от их наличия будет зависеть яркость восприятия и прочность запоминания исторических явлений и событий [2; 4–8].

Цель статьи – экспериментальное обоснование необходимости визуализации учебного материала при формировании исторических представлений у учащихся с интеллектуальной недостаточностью.

**Материал и методы.** Целенаправленное исследование сформированности исторических знаний и представлений у учащихся с интеллектуальной недостаточностью проводилось в феврале-марте 2018 года в государственном учреждении образования «Вспомогательная школа № 26 г. Витебска». Общее количество респондентов составило 14 человек с диагнозом F 70 по МКБ-10. В исследовании приняли участие учащиеся трех классов первого отделения: 8 «А», 9 «А» и 10 «А». Возрастной диапазон – от 14 до 17 лет, из них 8 девочек и 6 мальчиков.

Для проведения исследования были составлены диагностические задания, направленные на определение особенностей формирования исторических знаний и представлений в соответствии с программой обучения, а также знаний и представлений о городе Витебске и об исторических событиях, связанных с ним. Испытуемым предлагалось выполнить ряд заданий: установить соответствие между историческими и современными названиями городов Республики Беларусь, перевести года в века, дать определения понятиям, ответить на вопросы о стране, в которой они живут, выполнить тестовые задания. Каждый из испытуемых выполнял один и тот же набор заданий в сходных условиях, а именно наедине с экспериментатором, в полной тишине, это позволило обеспечить объективность оценки результатов.

**Результаты и их обсуждение.** Учащиеся вспомогательной школы продемонстрировали низкую степень сформированности исторических представлений при выполнении задания по узнаванию известных исторических объектов / исторических личностей по фотографии. Необходимо было определить исторический артефакт и лицо, которому он принадлежит (рис. 1).

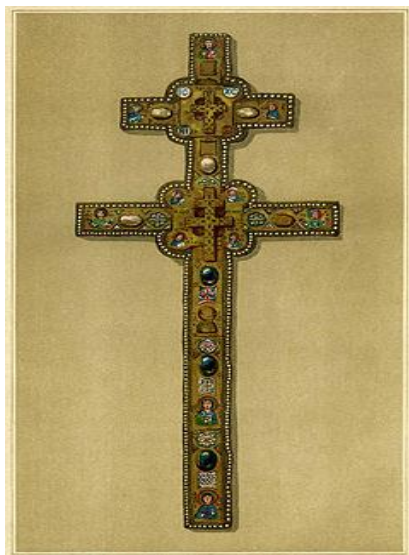


Рис. 1. Крест Евфросинии Полоцкой

В полном объеме с заданием не справился ни один испытуемый. Частично выполнили 57% учащихся с интеллектуальной недостаточностью, не справились 43%. Например, Вероника Б. о кресте Евфросинии Полоцкой смогла рассказать следующее: «Крест принадлежит какой-то девочке». Настя Ш.: «Крест принадлежал женщине». Андрей В. сказал, что «...это крест, он крестится», Кристина К.: «Нам про него рассказывали на истории. Исцелял людей. Во время войны был украден, сейчас сделали подделку». Егор К.: «Сделан из чистого золота, два раза воровали, принадлежал священнице».

Существенные трудности вызвало задание, где требовалось дать определение историческим понятиям. Ряд терминов анализировался и объяснялся испытуемыми исходя из схожести звучания с известными словами. Например, Дима Ш. на вопрос «Что такое стоянка древних людей?» ответил: «Там, где стоят машины». Андрей В. на тот же вопрос ответил, что это «церковь». На вопрос «Что такое "шляхта"?» Дима Ш. и Миша О. ответили: «Шахта какая-то». Необходимость определения понятия «батлейка» у Насти Ш. вызвала эмоциональную реакцию (смех) и ответ: «Это какой-то инструмент» (ассоциация со словом «балалайка»).

Показ мест расселения древних племен на территории Беларуси выявил значительные затруднения у старшеклассников с интеллектуальной недостаточностью, что может быть связано с недостаточной сформированностью картографических представлений (рис. 2).



Рис. 2. Места расселения древних племен на территории Беларуси

Выполнить задание в полном объеме не смог ни один из учащихся, частично справилось 29%, не справился 71% испытуемых. Например, Егор К. спросил: «Это вообще, что такое?», а Евгений М. просто перечислил все города, которые знает, но не назвал, где располагались предложенные племена. Многие из учащихся «расселяли» племена далеко за территориями, обозначенными линиями, в том числе за пределами Беларуси. Так, у Гражины П. племя кривичей располагалось на территории Украины.

Определенные трудности у испытуемых возникли при ответе на вопрос «Какие реки протекают в нашей стране?». 12 человек назвали Витьбу, Двину, Лучесу, опираясь на жизненный опыт, сузив диапазон ответа до территории города проживания (например, Аня К.: «Река Лучеса, я там живу недалеко»). Таким образом, у большинства испытуемых знания о географических объектах (реках) страны тесно связаны с их жизненным опытом, что подтверждает необходимость реализации краеведческого подхода в формировании исторических знаний и представлений.

Изучение осведомленности о названиях улиц города Витебска и происхождении их названий у старшеклассников с интеллектуальной недостаточностью показало, что полностью справиться с данным заданием не смог ни один учащийся, даже при наличии вариантов ответов. 71% испытуемых справился с заданием частично, 29% не смогли выполнить данное задание. Таким образом, исторические знания и представления об улицах города Витебска недостаточно сформированы.

Наибольшие трудности вызвал вопрос «Как называется главный город, центр Витебской области?». На него ответил правильно только один из 14 испытуемых (например, на данный вопрос Дима Ш. ответил «Площадь Свободы»). Как видно, дети не дифференцируют понятия «центр области» и «центр города». На вопрос «Как называют жителей города Витебска?» ответили правильно только 6 старшеклассников с интеллектуальной недостаточностью, на вопрос «Какие реки впадают в Западную Двину?» – лишь 2 человека, назвав Витьбу и Лучесу, еще 5 испытуемых назвали одну из перечисленных рек. С этим заданием не справился полностью ни один ученик старших классов вспомогательной школы, справились частично 64% испытуемых, не справились 36% учащихся с интеллектуальной недостаточностью.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием G-критерия знаков. Так как критическое значение  $G=4$  (при  $p=0,01$ ), а эмпирическое значение  $G=3,5$ , то, согласно формуле  $G_{эм} \leq G_{кр}$ , имеющиеся данные могут считаться статистически достоверными.

Результаты проведенного исследования показали, что исторические и краеведческие знания учащихся с интеллектуальной недостаточностью являются фрагментарными, непрочными и недифференцированными; школьники испытывают значительные трудности в самостоятельном воспроизведении ранее изученных исторических знаний. Следует обратить внимание и на часто встречающееся смещение исторических представлений, выражающееся в произвольном переносе лиц, событий, явлений в пространстве и времени. Учащиеся с интеллектуальной недостаточностью не в состоянии понять отдаленность исторических событий, их длительность, в результате чего у них наблюдаются нелепые перестановки. Следовательно, существует необходимость специально организованной педагогической деятельности по формированию исторических знаний и представлений на местном материале, в том числе в рамках внеклассной работы.

**Заключение.** В качестве оптимальной формы организации внешкольной образовательной деятельности нами разработан цикл экскурсий, визуализирующий исторические знания, представления и мотивирующий на изучение родного края. Возможности современных online и offline экскурсий сложно переоценить. Они позволяют учащимся с интеллектуальной недостаточностью ознакомиться с краеведческим материалом как в естественных условиях, так и в дополненной реальности. Экскурсии весьма продуктивны, так как всегда конкретны, предметны и эмоциональны. Именно данная форма работы предоставляет учителю возможность связать воедино события прошлого и реалии современной жизни, что способствует созданию верных представлений и формированию прочных знаний.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Амосович, Н.М. Из опыта работы по организации и планированию уроков истории во вспомогательной школе / Н.М. Амосович // Дефектология. – 1993. – № 6. – С. 33–37.
2. Петрова, Л.В. Пути изучения краеведческого материала в школе для детей с нарушением интеллекта / Л.В. Петрова // Диагностика, профилактика и коррекция нарушений развития детей с ограниченными возможностями здоровья: сб. науч. ст. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 1999.
3. Пузанов, Б.П. Изучение исторического и обществоведческого материала в старших классах вспомогательной школы: метод. рекомендации для вспомогательной школы / Б.П. Пузанов. – М.: Учебно-методический кабинет дефектологии. М-во просвещения РСФСР, 1986. – 54 с.
4. Капустин, А.И. Проблема дифференцированного и интегрированного обучения в истории олигофренопедагогики / А.И. Капустин // Дефектология. – 1996. – № 5. – С. 88–95.
5. Капустин, А.И. Исследование уровня сформированности исторических понятий у учащихся 2–5 классов вспомогательной школы / А.И. Капустин // Дефектология. – 1989. – № 4. – С. 33–37.
6. Голикова, Е.Т. Особенности понимания исторического материала учащимися старших классов вспомогательной школы / Е.Т. Голикова // В сб.: Вопросы обучения и воспитания умственно отсталых школьников / отв. ред. Г.И. Данилкина. – Л., 1971. – С. 16–23.
7. Жукова, Т.Д. Познаем свою малую Родину / Т.Д. Жукова // Юный краевед. – 2007. – № 1. – С. 28.
8. Исаев, Д.Н. Наиболее важные направления в изучении проблемы умственной отсталости / Д.Н. Исаев // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 12, Психология, социология, педагогика. – 2009. – № 4. – С. 236–240.

## REFERENCES

1. Amosovich N.M. *Defektologiya* [Defectology], 1993, 6, pp. 33–37.
2. Petrova L.V. *Diagnostika, profilaktika i korrektsiya narusheni razvitiya detei s ogranichennymi vozmozhnostiami zdoroviya. Sbornik nauchnykh statei* [Diagnostics, Prevention and Correction of Developmental Disorders of Children with Disabilities. Collection of Scientific Articles], SPb., Izd-vo RGPU im. A.I. Gertsena, 1999.
3. Puzanov B.P. *Izucheniye istoricheskogo i obshchestvovedcheskogo materiala v starshikh klassakh vspomogatelnoi shkoly. Metodicheskiye rekomendatsii dlia vspomogatelnoi shkoly* [Study of Historical and Social Science Material in Senior Years Special Schools. Guidelines for the Special School], M., Defectology Academic and Methodological Centeron of the Ministry of Education of the RSFSR, 1986, 54 p.
4. Kapustin A.I. *Defektologiya* [Defectology], 1996, 5, pp. 88–95.
5. Kapustin I.A. *Defektologiya* [Defectology], 1989, 4, pp. 33–37.
6. Golikova E.T. *Voprosy obucheniya i vospitaniya umstvenno otstalykh shkolnikov. Sbornik* [Proceedings: Issues of Training and Education of Mentally Retarded Schoolchildren]. L., 1971, pp. 16–23.
7. Zhukova T.D. *Yuny krayeved* [Young Local Historian], 2007, 1, p. 28.
8. Isayev D.N. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 12, Psikhologiya, sotsiologiya, pegagogika* [Bulletin of St. Petersburg University. Ser. 12, Psychology, sociology, pedagogy], 2009, 4, pp. 236–240.

Поступила в редакцию 08.04.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: vit.conf@tut.by – Бумаженко Н.И.

УДК 613.4:615.825-057.875

# ЗДОРОВЫЙ ОБРАЗ ЖИЗНИ И СТУДЕНЧЕСКАЯ МОЛОДЕЖЬ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ

П.И. Новицкий, Н.М. Нахаева

*Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»*

Стремительно изменяющиеся социально-экономическая и образовательная среда, приоритеты и ценности в обществе аналогичным образом отражаются на образе жизни молодого поколения, в том числе содержании свободного времени, его связи со сбережением и укреплением здоровья. Содержание и динамика происходящих здесь изменений требуют постоянного контроля и рефлексии ученых и педагогов, отвечающих за формирование и развитие здорового, соответствующего запросам общества и государства, молодого поколения.

Цель статьи – раскрытие особенностей и детерминант ведения здорового образа жизни (ЗОЖ) студенческой молодежи с позиций системного подхода, рассмотрение ЗОЖ как состояния практической деятельности (поведения) индивида, что обусловлено взаимосвязанным влиянием многочисленных факторов и причин различной природы (социальной, психической, физической, онтогенетической и др.).

**Материал и методы.** В исследовании приняли участие студенты первого-второго курсов двух витебских университетов. Общее количество охваченных различными анкетами – 291 респондент. Анкетный лист «Здоровый образ жизни и современная молодежь» включал 23 вопроса (с предлагаемыми от 3 до 7 вариантами ответов). Посредством других анкет изучались отношение молодежи к курению и содержащим алкоголь напиткам, структура и содержание образа жизни студентов, причины, мешающие (затрудняющие возможность) студентам заниматься физкультурой и спортом в свободное время. Полученные материалы анкетирования обрабатывались общепринятыми методами математической статистики.

**Результаты и их обсуждение.** Исследованием установлено, что среди всех участников анкетирования ведут здоровый образ жизни 12,2%, его придерживаются 74,4%, не придерживаются 13,4%. Большинство участников опроса (85,4%) не используют для поддержания здоровья самостоятельные занятия (утреннюю гимнастику, общеразвивающие упражнения, оздоровительную ходьбу, бег и др.) физкультурой в течение дня. Расширенный перечень компонентов здорового образа жизни смогли назвать не многие респонденты. Положительную взаимосвязь между здоровьем и занятиями физической культурой в учебном учреждении видят 65,3% участников опроса, 30,4% – сомневаются в положительном ответе, 5,3% – эту связь не видят.

**Заключение.** По характеру отношения студентов к ЗОЖ выделено три разновидности: отношение к ЗОЖ как следование общепринятым социальным стандартам, нормам и требованиям поведения в обществе, отношение на уровне твердого мнения и убеждений, подкрепляемых непосредственным практическим опытом, и равнодушное, безразличное отношение к ЗОЖ и его ценностям. Наиболее распространенными обстоятельствами, в большей или меньшей степени «мешающими» студентам вести физически активный образ жизни, заниматься физической культурой и спортом в свободное время, являются «усталость после учебы» (95%), «занятость учебной деятельностью» (92%), «домашняя (бытовая) занятость» (87%).

**Ключевые слова:** здоровый образ жизни, студенты, отношение к ЗОЖ, свободное время, физическая активность, вредные привычки, здоровье, анкетирование.

## HEALTHY LIFESTYLE AND STUDENT YOUTH: SOCIOLOGICAL ASPECT OF THE PROBLEM

P.I. Novitski, N.M. Nakhaeva

*Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»*

Rapidly changing social and economic as well as educational environment, priorities and values in society, similarly affect the lifestyle of the younger generation, including the content of free time, its connection with saving and improving health. The content and dynamics of the changes taking place here require constant monitoring and reflection on the part of scientists and teachers, responsible for the formation and development of a healthy, responsive to the needs of society and the state young generation.

*The purpose of the article is disclosing the features and determinants of healthy lifestyles among students from the point of view of a systematic approach, considering healthy lifestyles as a state of practice (behavior) of an individual due to the interrelated influence of numerous factors and causes of different nature (social, mental, physical, ontogenetic, etc.).*

**Material and methods.** *The study involved, first and second year students of two Vitebsk universities. The total number of those questioned was 291 respondents. The questionnaire «Healthy Lifestyle and Modern Youth» included 23 questions (with suggested answers from 3 to 7). Through other questionnaires, the attitude of young people to smoking and alcohol-containing beverages, the structure and content of students' lifestyle, the reasons that impede (making it difficult for students) to engage in physical exercise and sports in their free time were studied. The obtained survey materials were processed by generally accepted methods of mathematical statistics.*

**Findings and their discussion.** *The study established that among all survey participants 12,2% lead a healthy lifestyle, 74,4% adhere to it, 13,4% do not adhere to it. The majority of survey participants (85,4%) do not exercise (morning exercises, general developmental exercises, health walking, jogging, etc.) during the day to maintain health. An extended list of components of a healthy lifestyle could not be called by many respondents. 65,3% of respondents see a positive relationship between health and physical education in an educational institution, 30,4% doubt the positive answer, 5,3% do not see this connection.*

**Conclusion.** *By the nature of the attitude of students to healthy lifestyle, there are 3 groups: the following social standards and norms attitude, the attitude on the level convictions supported by practical experience and the indifferent attitude to healthy lifestyle and its values. Circumstances which prevent students from having physically active lifestyle and doing sports in their free time are: feeling tired after classes (95%), being busy academically (92%) and housework (87%).*

**Key words:** *healthy lifestyle, students, attitude to healthy lifestyle, free time, physical activity, bad habits, health, questioning.*

Отношение детей и учащейся молодежи к здоровому образу жизни (ЗОЖ) остается не только актуальным направлением педагогической науки, но и приоритетным в социальной политике государства [1]. Состояние и подходы к решению проблемы ведения студенческой молодежью ЗОЖ в разные годы отражались в публикациях многих исследователей (С.Г. Добротворская, 2003; Т.М. Кравченко, 2004; И.В. Страхова, 2005; Т.В. Бушма, 2008; И.В. Журавлева, 2012; А.Е. Завьялов, 2013; П.И. Новицкий, Т.В. Чепелева, 2015–2017; А.Е. Забелина, 2017 и др.). В то же время стремительно изменяющиеся социально-экономическая и образовательная среда, приоритеты и ценности в обществе аналогичным образом отражаются на образе жизни молодого поколения, в том числе в его свободном времяпровождении, связи со сбережением и укреплением здоровья. Содержание и динамика происходящих здесь изменений требуют постоянного контроля и рефлексии ученых и педагогов, отвечающих за формирование и развитие здорового, отвечающего запросам общества и государства молодого поколения.

Ведение человеком здорового образа жизни с позиции системного подхода представляет многокомпонентную индивидуальную практику, выступающую относительно самостоятельной социальной системой, в то же время функционирующей, имеющей и меняющей свое содержание под влиянием целого ряда социальных, психолого-педагогических, биологических и других факторов. В широком смысле ЗОЖ является составной частью сложно организованной системы более высокого порядка, находясь в ее центре, и детерминированной многочисленными функциональными связями с различными другими системными образованиями и уровнями.

Наблюдаемый в молодом возрасте (в частности в его студенческом периоде) образ жизни человека представляет органическое слияние в этой социальной практике настоящей и прошлой жизнедеятельности. Реальное содержание образа жизни, которое у молодого человека просматривается сейчас, во многих аспектах является производным его предшествующего содержания – прошлого социального опыта, условий и особенностей обучения и воспитания, результатов психологического и физического развития в предшествующих периодах онтогенеза (дошкольном, школьном).

Педагогическое значение обозначенного обстоятельства заключается в том, что образ жизни не некая статическая данность, а категория динамичная, развивающаяся и рефлексивная.

В связи с этим научный интерес представляет углубленное и всестороннее изучение причин, лежащих в основе того или иного стиля (варианта) образа жизни молодого человека, основных компонентов данного системного образования и их влияния друг на друга.

Несмотря на многочисленные, постоянно пополняющиеся результаты научных исследований, посвященных вопросам ЗОЖ различных групп населения, в том числе студенческой молодежи, системному изучению причин, обуславливающих тот или иной стиль ведения молодых людей (в частности не соответствующего представлениям ЗОЖ), внимания уделяется меньше.

Цель статьи – раскрытие особенностей и детерминант ведения здорового образа жизни (ЗОЖ) студенческой молодежью с позиций системного подхода, рассмотрение ЗОЖ как состояния практической деятельности (поведения) индивида, что обусловлено взаимосвязанным влиянием многочисленных факторов и причин различной природы (социальной, психической, физической, онтогенетической и др.).

**Материал и методы.** В исследовании приняли участие студенты первого-второго курсов двух ви-тебских университетов. Общее количество охваченных различными анкетами – 291 респондент. Основным методом исследования и получения информации являлся социологический опрос в форме анкетирования. Анкетный лист «Здоровый образ жизни и современная молодежь» включал 23 вопроса (с предлагаемыми – от 3 до 7 – вариантами ответов). Полученные более 2000 ответов ранжировались по группам «В», «У» и «П». Группа «В» включала ответы, отражающие отношение к здоровому образу жизни на уровне имеющихся взглядов или сложившихся суждений; группа «У» – отношение к здоровому образу жизни на уровне убеждений или глубокого осмысления полученных знаний и опыта; группа «П» – отношение к здоровому образу жизни на уровне поведенческом или взаимосвязанных поступков. Количество участников из двух вузов данного исследования составило 120 человек, в том числе 76 юношей и 44 девушки.

Для изучения отношения студентов к курению и употреблению слабоалкогольных напитков 62 студента II курса (44 девушки и 18 юношей в возрасте 18–20 лет) ответили на вопросы анкеты, содержащей 33 вопроса закрытого и открытого типа.

Анализ причин, мешающих (затрудняющих возможность) студентам заниматься физкультурой и спортом в свободное время, предполагал заполнение анкеты с 15 предложенными вариантами причин (рис.). Респондент отмечал те причины, которые: а) вовсе «не мешают»; б) «мешают, но незначительно» и в) «очень мешают».

Исследование структуры и содержания свободного времени студентов изучалось у первокурсников (основная масса респондентов – студентки), обучающихся на биологическом, юридическом и филологическом факультетах (n=102 человека). Анкета включала 24 компонента (разновидности) свободного времяпровождения (например, «посещение кинотеатра») с вариантами ответов: «как правило», «иногда», «практически никогда». Данные анкетирования обрабатывались методами математической статистики.

**Результаты и их обсуждение.** В ходе опроса было установлено, что среди всех участников анкетирования ведут здоровый образ жизни 12,2%, придерживаются 74,4%, не придерживаются 13,4%. Большинство участников опроса (85,4%) не используют для поддержания здоровья самостоятельные занятия (утреннюю гимнастику, кросс, оздоровительную ходьбу и т.п.) физкультурой в течение дня.

Примером ведения здорового образа жизни для 42,4% юношей и девушек являются родители, для 23% – друзья, для 9,5% – преподаватель, учитель физической культуры (тренер), 10,2% опрошенных не видят в родных и окружающих их людях примера ведения здорового образа жизни. У 44,4% респондентов члены их семьи (родители) не придерживаются здорового образа жизни.

По 10-балльной шкале самооценка уровня здоровья среди участников опроса колебалась в пределах от 10 до 4 баллов. На 9–10 баллов свое здоровье оценили 39% респондентов, на 6–4 балла – 13,4%. Практически не болеют в течение года 24,2% участников анкетирования. Количество болеющих более 3–6 раз в течение года составило 9,3%.

Расширенный перечень компонентов здорового образа жизни смогли назвать не многие респонденты. Влияние длительного нахождения у компьютера и смартфона на здоровье и самочувствие людей не выделил ни один из участников опроса. При выделении более значимых компонентов здорового образа жизни в лидеры вышли физическая активность (32,1%), питание (28,5%), режим дня и сон (17,3%).

На вопрос о внимании к составу покупаемых и употребляемых продуктов питания 65% студентов ответили «иногда», 17,2% – «постоянно». Оставшиеся 17,8% участников опроса не обращают внимания на состав приобретаемых и употребляемых продуктов. На вопрос о соблюдении режима дня 77,1% ответили «не всегда», 13,3% – «не соблюдаю».

По мнению 73% участников опроса, они ведут активную жизнь, когда не хватает на многое времени, у 27% – жизнь спокойная и размеренная с достаточным количеством свободного времени. Поло-

жительную взаимосвязь между здоровьем и занятиями физической культурой в учебном учреждении видят 65,3% участников опроса, 30,4% – сомневаются в положительном ответе, 5,3% – эту связь не видят.

Информацию о здоровом образе жизни считают интересной и полезной 45,1% респондентов. Источником информации при этом для 42% молодых людей являются родители, для 50% – интернет.

По характеру отношения студентов к здоровому образу жизни среди вошедших в исследованную выборку анкетированных лидируют сторонники «поведенческого» отношения (группа «П») – 41,2% участников. Оно проявляется у опрошенных через взаимосвязанные поступки на фоне общепринятых социальных стандартов, таких как наличие представления о здоровом образе жизни и его компонентах, полученных, как правило, через интернет; потребность в здоровой среде и питании; уравновешенная спокойная жизнь; хорошее здоровье. Вредные привычки не поощряются, но иногда допускаются. Средства физической культуры используются в рамках основной деятельности (учебы). Подобное отношение характерно для молодых людей, которые пытаются придерживаться основных компонентов здорового образа жизни. На второй позиции (37,5%) представители группы «У». Для них характерно наличие убеждения (необходимости) в соблюдении здорового образа жизни. Убеждения выражаются через имеющиеся знания о здоровом образе жизни и постоянное самообразование; присутствие положительного примера в семье; соблюдение режима дня и питания; активную жизненную деятельность и здоровый досуг; отсутствие вредных привычек; хорошее здоровье; занятие физической культурой и спортом; попытки самостоятельных занятий – различные формы двигательной активности. На третьей позиции группа «В» (21,3%) – это участники, у которых отношение к здоровому образу жизни проявляется в равнодушии во взглядах (суждениях) на данное явление. В связи с этим мотивация в формировании потребности в здоровом образе жизни невысока. Такое отношение характеризуется тем, что представители владеют информацией о здоровом образе жизни и его основных компонентах, у них завышена самооценка уровня своего здоровья («не болею – значит здоров»), не соблюдаются режим дня и состав питания, отсутствует пример в ближайшем окружении, имеется наличие вредных привычек, занятия двигательной активностью и спортом используются по необходимости.

Изучение отношения участников опроса к вредным привычкам показывает, что 87,4% их не поощряют. При этом 55,2% опрошенных, например, пробовали курить.

Результаты проведенного нами совместно с В.Л. Дедковым анкетирования [2] среди 62 второкурсников показали, что наибольшая часть студентов не курит (79,3%), остальные (21,5%) такую привычку имеют (стаж курения – от менее года до 7 лет). В это число вошли и те, кто приобщается к сигаретам только в компании (40% респондентов начало курения связывают с компанией друзей и знакомых, с которой они находятся в постоянном общении: по учебе, хобби, интересам, в свободное время). Наиболее распространенная продолжительность курения у студентов (40%) составила 1–2 года. Первую сигарету 70% опрошенных попробовали в 17–18 лет, у многих это совпало с началом обучения в вузе. «Курильщики», участвовавшие в анкетировании, выкуривают в среднем от 2 до 10 сигарет в день.

Многие курящие студенты критически относятся к своей привычке:

- 60,2% хотели бы избавиться от данной зависимости;
- 40,4% не имеют в этом твердой уверенности или вовсе не считают это необходимым;
- 60% курящих не могут отказаться от курения, признавая, что это уже постоянная, прочно вошедшая в их жизнь необходимость;
- 40% возможность отказаться от курения не считают проблемой.

Лишь у 37% респондентов в их окружении (друзья, знакомые, коллеги) курящие лица практически отсутствуют, 60% студентов выросли в семье или постоянно общаются с курящими близкими родственниками (отец, мать, братья, сестры)

У 77% респондентов отношение к курящим нейтральное. На вопрос «Считаете ли Вы, что курением наносите вред здоровью окружающих Вас людей?» утвердительно ответили 40,3%, «не задумывался» – 10%, «думаю, что это не столь сильно навредит окружающим» – 50%. Аналогичным образом многие курящие студенты не видят проблем в отношении влияния курения на собственное здоровье.

На вопрос «Осознаете ли Вы, что курение вредит Вашему здоровью?» 62,3% курящих респондентов не дают утвердительного ответа о вреде курения на свое здоровье, считая что это их «личное дело». Изучение отношения рассматриваемой выше группы студентов к содержащим алкоголь напиткам (пиво, джин-тоники, вина, коктейли и др.) показало, на примере предыдущего исследованию года, что 93,4% сталкивались с их употреблением в редких (единичных) случаях. Чаще всего у 40% это было пиво, джин-тоники, вино, у 36% респондентов имели место как слабоалкогольные, так и крепкие алкогольные напитки. Почти половина респондентов (42%) затрудняются конкретизировать свое мнение о пользе или вреде алкоголя или считают, что в строго контролируемых, умеренных дозах это даже полезно для здоровья; 58% считают, что как слабые, так и крепкие алкогольные напитки не приносят пользы организму [2].

На отношение к вредным привычкам существенное влияние оказывает физкультурно-спортивная активность студента, место ФКиС в его образе жизни. Как показали результаты анкетирования студентов, получающих физкультурное образование и активно занимающихся физической культурой и спортом, отношение к вышерассмотренным вредным привычкам выглядело иным. Из 48 студентов II курса факультета лишь 12% в большей или меньшей степени приобщаются к курению, несмотря на то, что у данной группы респондентов родственники семьи постоянно или иногда курят. К слабоалкогольным напиткам практически не приобщается 92% опрошенных. В течение года, по ответам студентов, частота приобщения к этим напиткам составила в среднем 3,7 случая. Анкетирование студентов, обучающихся на факультете физической культуры и спорта, указывало на негативное отношение большинства участников исследования к употреблению содержащих алкоголь напитков, к курению, критическое отношение к окружающим, злоупотребляющим этими привычками.

Распределение мнений респондентов по вопросу «В какой степени Вам мешают в реализации желания заниматься физкультурой и спортом различные обстоятельства (причины)?» представлено на рис.

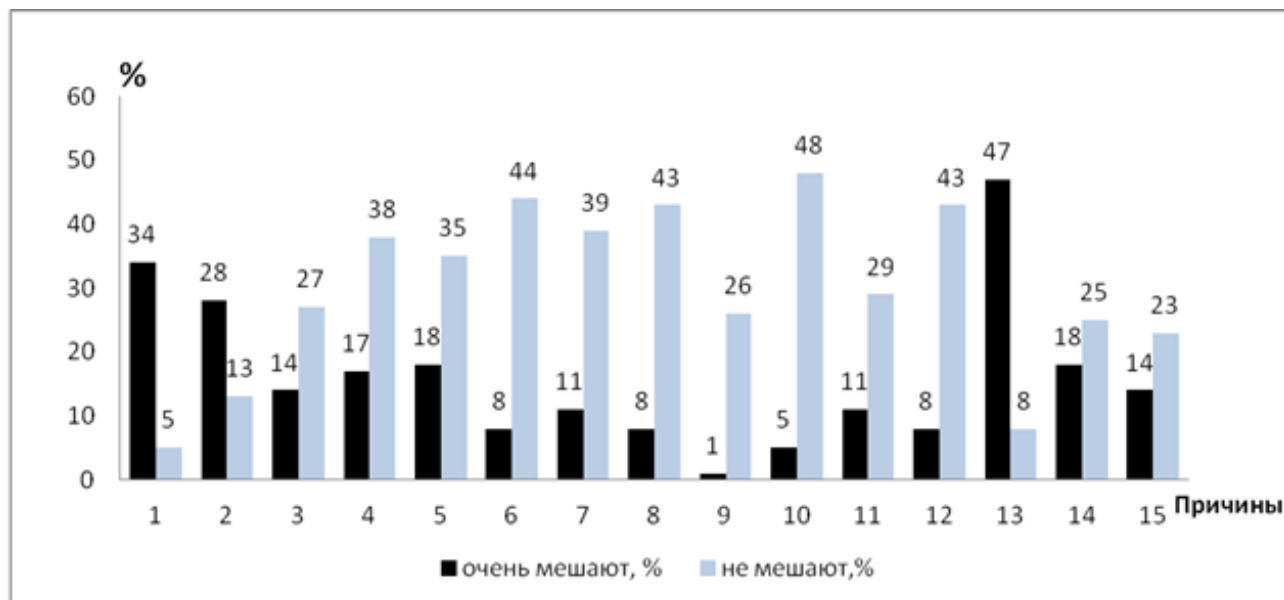


Рис. Причины, «мешающие» студентам заниматься физкультурой и спортом (в %, количество студентов).

Обозначения:

- 1 – усталость после учебы, работы;
- 2 – домашняя (бытовая) занятость;
- 3 – особенности характера учебы, работы;
- 4 – нет компании для занятий;
- 5 – место занятий далеко от дома;
- 6 – плохо организованы занятия с людьми моего возраста;

- 7 – отсутствие физкультурно-спортивных умений и навыков;
- 8 – отсутствие физкультурно-спортивных знаний;
- 9 – члены семьи не одобряют занятия физической культурой и спортом;
- 10 – трудно попасть в группу, организованную по интересующему виду занятия;
- 11 – плохое состояние здоровья, травмы;
- 12 – отсутствие личного спортивного инвентаря;
- 13 – занятия учебой;
- 14 – внеучебная (внеурочная) работа;
- 15 – другие увлечения и интересы.

Анализ данных анкетирования выявил, что среди многообразия причин как минимум у более половины опрошенных студентов (более 50%) самостоятельным или организованным занятиям физической культурой и спортом в свободное время препятствуют или мешают обстоятельства, представленные в табл.

Таблица

**Причины, обуславливающие отсутствие систематической физкультурно-спортивной активности в свободное время у половины и более студенческой молодежи (по данным опроса 109 респондентов)**

Причины	Респонденты, %
Нет компании для занятий	55
Занятость учебой	55
Удаленность места занятий от места проживания	53
Сложности попасть в группу, организованную по интересующему виду занятий	53
Недостаточный (плохой) уровень организации и проведения занятий с лицами молодого возраста	52
Отсутствие или низкий уровень физкультурно-спортивных знаний	51
Отсутствие одобрения занятий физической культурой и спортом членами семьи	51
Отсутствие или недостаточный уровень физкультурно-спортивных умений и навыков	50

Исследование показывает, что около половины опрошенных студентов считают количество своего свободного времени недостаточным или хотели бы иметь его больше. При этом 60,92% ссылаются на значительную усталость после окончания учебного времени в университете. Данный фактор повышает значимость изучения структуры и содержания свободного времени студентов как необходимого материала для поиска наиболее рациональных вариантов его использования для полноценной образовательной деятельности, здоровья и повышения качества жизни в целом.

По результатам анкетирования, проведенного П.И. Новицким, Т.В. Чепелевой и А.В. Вильчик, в свободное время большинство опрошенных первокурсниц (78,16%) занимаются учебой и самообразованием, 43,68% приобщаются к чтению книг, около трети (34,48%) заняты просмотром кинофильмов. Все (100%) респондентов около часа и более посвящают социальным сетям, пользованию телефоном, компьютером.

Культурная составляющая, связанная с посещением театра, музеев, познавательных экскурсий, спортивных зрелищ, присутствует «иногда» у более 40% респондентов и у такой же части – «практически никогда».

У 44,83% студенток в свободном времени имеют, как правило, место встречи с друзьями, столько же уделяется время любимым занятиям, хобби. Около четверти респондентов (27,59%) обычно участвуют в художественной самодеятельности, но почти у такой же части (20,69%) в свободном времени присутствует пассивный отдых («полежать ничего не делая»). Количество лиц, у которых пассивный отдых присутствует «иногда», составило 65,52%. Определенное, но не столь распространен-

ное место в свободном времени студенток занимает организованная физическая активность. Занимаются физической культурой и спортом «как правило» 21,84% студенток, «иногда» – 59,7%, «практически никогда» – 29,87%. Не востребованными «практически никогда» оказались для 59,77% респондентов и туризм, походы.

**Заключение.** По характеру отношения студентов к ЗОЖ выделено три разновидности: отношение к ЗОЖ как следование общепринятым социальным стандартам, нормам и требованиям поведения в обществе (41,2% ответов респондентов указывают на данный вид отношения), отношение на уровне твердого мнения и убеждений, подкрепляемых непосредственным практическим опытом ведения ЗОЖ (37,5%), и равнодушное, безразличное отношение к ЗОЖ и его ценностям (21,3%).

Анализ структуры свободного времени студенток, обучающихся на I курсе университета, показал преобладание у большей части респондентов компонентов образовательной направленности (учеба, самообразование). Несмотря на значительную усталость, которую испытывают 60,92% респондентов после учебных занятий в университете, содержание свободного времени после учебы не может способствовать действенному восстановлению их психофизического состояния.

Наиболее распространенными обстоятельствами, в большей или меньшей степени «мешающими» студентам вести физически активный образ жизни, заниматься физической культурой и спортом в свободное время, являются «усталость после учебы» (95%), «занятость учебной деятельностью» (92%), «домашняя (бытовая) занятость» (87%).

Коллеблющееся мнение у студентов по отношению к отрицающей, принимающей и нейтральной оценке вредных привычек (курения, приобщения к содержащим алкоголь напиткам) в жизни молодежи, сменяется конкретным отрицанием их в здоровом образе жизни теми, кто активно приобщен к самостоятельной и (или) организованной физкультурно-оздоровительной и спортивной деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении государственной программы «Образование и молодежная политика» на 2016–2020 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 марта 2016 г. № 250.
2. Новицкий, П.И. Отношение студенческой молодежи к употреблению алкоголя и табака / П.И. Новицкий, В.Л. Дедков // Материалы докладов 51-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов: в 2 т. – Витебск: ВГТУ, 2018. – Т. 1. – С. 165–167.

#### REFERENCES

1. *Ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy «Obrazovaniye i molodezhnaya politika» na 2016–2020 gody: Postanovleniye Soveta Ministrov Respubliki Belarus ot 28 marta 2016 g. No 250* [About Approving the State Program «Education and Youth Policy» for the Years of 2016–2020: No 250 March 28, 2016 Council of Ministers of the Republic of Belarus Decree].
2. Novitski P.I., Dedkov V.L. *Materialy dokladov 51-i mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii prepodavatelei i studentov* [Proceedings of the 51<sup>st</sup> International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students], Vitebsk, VGTU, 2018, pp. 165–167.

Поступила в редакцию 22.11.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: npavel@tut.by – Новицкий П.И.



## КОЛЛЕКТИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ ТЕХНИКЕ ВИДОВ ЛЕГКОЙ АТЛЕТИКИ

О.В. Прокопов

Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»

*Существуют различные пути совершенствования учебного процесса по спортивно-педагогическим дисциплинам. Самым простым и доступным является сочетание учебной практики с обучением технике видов легкой атлетики.*

*Цель – совершенствовать технологию коллективного обучения технике видов легкой атлетики.*

**Материал и методы.** Исследование проводилось на базе факультета физической культуры и спорта в 2016–2018 гг. С использованием метода экспертных оценок у 305 студентов определен уровень владения техникой легкоатлетических упражнений. Изучено влияние взаимообучения на освоение техники легкоатлетических упражнений у 80 студентов.

**Результаты и их обсуждение.** В условиях группового обучения 78–92% студентов факультета физической культуры и спорта овладевают основами техники некоторых видов легкой атлетики. Среднее количество отличных оценок техники составило 3–14%, хороших – 15–34%, удовлетворительных – 37–67%, неудовлетворительных – 8–30%. При применении взаимообучения общая обученность достигла 92%. Среднее количество отличных оценок техники насчитывает 8–12%, хороших – 48–60%, удовлетворительных – 20–32%, неудовлетворительных – 8%.

Существенные различия отмечены по обученности технике толкания ядра и прыжка в длину с разбега. В экспериментальной группе показатель достиг 60%, в контрольной – 25–27%.

Наименее трудными для освоения студентами видами являются спортивная ходьба, спринтерский бег и толкание ядра, наиболее трудным – метание копья (мяча, гранаты).

**Заключение.** Использование взаимообучения студентов в парах сменного состава позволяет существенно улучшить профессиональную подготовленность студентов по дисциплине «Легкая атлетика и методика преподавания» за счет самостоятельной работы студентов по изучению техники видов легкой атлетики.

**Ключевые слова:** легкая атлетика, групповое обучение, взаимообучение.

## GROUP TRAINING METHOD IN TRACK AND FIELD

O.V. Prokopov

Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

*There are different ways of improving sport education disciplines within the academic process. The simplest and the most accessible one, as we see it, is combination of the academic practice with training track and field.*

*The purpose is to improve group training method in athletic techniques.*

**Material and methods.** The research was conducted on the basis of the Faculty of Physical Training and Sports in 2016–2018. The level of mastering the technique of athletics exercises is determined for 305 students using expert assessments method. The influence of mutual training on the mastering of athletic technique of 80 students was studied

**Findings and their discussion.** In group training conditions 78–92% of students master the basics of techniques of some types of athletics. The average number of excellent marks was 3–14%, good – 15–34%, satisfactory – 37–67%, unsatisfactory – 8–30%. Using mutual training the total learning rate was 92%. The average number of excellent marks was 8–12%, good 48 to 60%, satisfactory – 20 to 32%, unsatisfactory – 8%.

Significant differences were noted in training the technique of shot put and long jump with a run. In the experimental group the indicator reached 60%, in the control group – 25–27%.

The least difficult kinds for students' learning are sports walking, sprinting and shot put, the most difficult – javelin (ball and grenades throwing).

**Conclusion.** Students' mutual training in replaceable staff pairs makes it possible to improve the professional training of students on the discipline «Athletics and Teaching Methods» using the independent work of students in training techniques of athletics.

**Key words:** track and field, group training, mutual training.

**С**портивно-педагогические дисциплины («Гимнастика и методика преподавания», «Спортивные и подвижные игры и методика преподавания», «Легкая атлетика и методика преподавания») составляют треть государственного компонента цикла специальных дисциплин. На их изучение приходится 40% времени (808 аудиторных часов), отводимого на весь цикл специальных дисциплин [1]. Это не так много, как кажется. В гимнастике изучается техника и методика обучения разнообразным упражнениям на 9 снарядах. В спортивных и подвижных играх помимо разнообразных подвижных игр студенты осваивают как минимум технику, тактику и методику обучения технике и тактике футбола, гандбола, баскетбола и волейбола. В курсе легкой атлетики изучаются техника и методика обучения как минимум 11 упражнений.

Некоторые авторы [2–4] считают, что параллельного улучшения профессиональных знаний, умений, навыков можно достигнуть, применяя на учебных занятиях средства и методы активного обучения. Процесс подготовки студентов факультета физической культуры и спорта на занятиях по легкой атлетике с этой точки зрения не получил еще достаточного обоснования. Поэтому задача оптимизации специальной подготовки студентов по критерию экономии времени является актуальной.

Существуют различные пути совершенствования учебного процесса по спортивно-педагогическим дисциплинам. По нашему мнению, самым простым и доступным является сочетание учебной практики с обучением технике видов легкой атлетики. Мы предполагаем, что использование коллективного способа обучения в сочетании со взаимообучением студентов в парах сменного состава существенно улучшит профессиональную подготовленность студентов по дисциплине «Легкая атлетика и методика преподавания» за счет преимуществ группового обучения и активизации самостоятельной работы студентов по освоению техники видов легкой атлетики на учебных занятиях.

Цель – совершенствовать технологию обучения студентов факультета физической культуры и спорта легкоатлетическим упражнениям в условиях применения коллективного способа обучения.

**Материал и методы.** Основной задачей педагогических наблюдений было изучение эффективности группового обучения студентов ФФКиС отделений дневного и заочного обучения технике бега, прыжков, метаний. Педагогический эксперимент проводился с целью определения эффективности обучения технике видов легкой атлетики при использовании группового способа в сочетании со взаимообучением студентов в парах сменного состава. Для анализа полученных данных применялись общепринятые методы математической статистики [5]. Оценка различий технической обученности испытуемых контрольных и экспериментальных групп осуществлялась с использованием тетракорического коэффициента сопряженности ( $r_A$ ). Для оценки статистической значимости  $r_A$  применялся критерий «хи-квадрат» ( $\chi^2$ ).

В ходе педагогических наблюдений у 305 студентов дневной и заочной форм обучения было проанализировано владение техникой 7 видов легкой атлетики (спортивная ходьба, спринтерский и барьерный бег, прыжки в высоту, в длину, метание мяча и гранаты, толкание ядра). Построение наблюдений, выбранное исходя из опыта других исследователей [6], было следующим. По окончании серии занятий по изучению техники вида легкой атлетики проводилась визуальная оценка индивидуальной техники занимающихся. При этом в первую очередь обращалось внимание на ритм выполнения упражнения, а также на амплитуду и свободу, не скованность движений. В спортивной ходьбе, беге, кроме того, оценивались осанка, прямолинейность перемещения занимающихся, а также отсутствие лишних движений туловища и рук. В барьерном беге – ритм бега между барьерами. В прыжках особое внимание обращалось на набегание на место отталкивания, постановку толчковой ноги на место отталкивания сверху вниз, полное выпрямление на опорной ноге, окончание маха одновременно с отталкиванием. В метаниях оценивались держание снаряда, выполнение захвата снаряда, своевременность приложения активных усилий к снаряду в финальном усилии, выполнение движения хлестом.

В беге испытуемые выполняли, как правило, одну попытку. В прыжках и метаниях анализировалась также стабильность техники, поэтому выводилась средняя оценка по сумме трех попыток. Поскольку уровень владения техникой легкой атлетики во многом определяется уровнем функциональной и скоростно-силовой подготовленности [7], оценка техники проводилась в облегченных условиях. Техника бега и спортивной ходьбы устанавливалась на коротких отрезках (от 30 до 60 м). В барьерном беге техника оценивалась при пробегании через 3 низких (0,762 м) барьера и сближенной их расстановке (6,5–8 м). Прыжки выполнялись со среднего разбега – в высоту (5–7 шагов), в длину (9–11 шагов). В метаниях использовались облегченные и легкие снаряды (мяч, граната, ядра 3–5 кг).

Применялась следующая шкала оценок техники движений [7]. «Отлично» (5) – движение выполнено в основном правильно с незначительным количеством мелких ошибок, «хорошо» (4) – допущено не более одной значительной ошибки или несколько мелких, «удовлетворительно» (3) – допущены две крупные ошибки, «неудовлетворительно» (2) – допущено более двух крупных ошибок или две крупные и несколько мелких ошибок.

В педагогическом эксперименте приняли участие 80 студентов I курса дневной формы обучения. Были выбраны две контрольные и одна экспериментальная группа. В ходе педагогического эксперимента студенты изучали технику прыжков в высоту способом «перешагивание», прыжков в длину способом «согнув ноги» и технику толкания ядра. Эти виды были выбраны исходя из возможности проведения круглогодичного обучения. В контрольных и экспериментальной группах было проведено по 6 занятий по изучению техники каждого из названных видов. За период обучения каждый студент выполнил около 80 попыток в каждом из прыжков и в метании. Длительность обучения определялась рабочей программой по легкой атлетике. Кроме того, известно, что для приобретения элементарной техники этих видов легкой атлетики требуется в среднем 5–8 занятий [6]. Также экспериментально доказано, что на этапе начального обучения качество выполнения упражнения практически стабилизируется после выполнения 80 попыток [8].

В экспериментальной и контрольных группах соотношение объяснения и показа упражнений преподавателями, используемые упражнения и их дозировка были одинаковыми. Обучение технике видов проводилось по общепринятым методикам [7]. Экспериментальным фактором явилось включение в учебный процесс по легкой атлетике у студентов I курса учебной практики в парах сменного состава. Учебная практика в контрольных группах ограничивалась построением группы, сдачей рапорта; подачей строевых команд, объяснением и показом общеразвивающих и специальных упражнений.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты педагогических наблюдений за эффективностью группового обучения технике видов легкой атлетики приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Обученность студентов при использовании группового обучения, % (n=72)**

Форма обучения	Оценка	Упражнение						
		ходьба	спринт	барьерный бег	прыжок в высоту	прыжок в длину	метание мяча	толкание ядра
дневная	«5»–«3»	92	88	79	78	78	71	85
	«5»	14	11	8	8	10	4	7
	«4»	38	30	31	34	29	20	27
	«3»	40	48	41	37	40	46	52
	«2»	8	11	20	21	21	30	14
заочная	«5»–«3»	89	81	79	88	89	88	89
	«5»	9	3	4	9	5	5	8
	«4»	30	24	19	23	22	15	17
	«3»	50	54	56	56	62	67	64
	«2»	11	19	21	12	11	13	11

Из данной таблицы следует, что наибольшая обученность студентов дневной формы обучения (количество человек, получивших оценки от «5» до «3») отмечается в таких упражнениях, как спортивная ходьба, спринтерский бег и толкание ядра (85–92%), в остальных упражнениях она составляет 71–79%.

Количество отличных оценок колеблется от 4% в метании мяча до 14% в спортивной ходьбе; хороших оценок – от 21% в метании мяча до 38% в спортивной ходьбе и удовлетворительных – от 36%

в прыжках в высоту до 51% в толкании ядра. Таким образом, для студентов I курса дневной формы обучения наименее трудными для освоения видами являются спортивная ходьба, спринтерский бег и толкание ядра. Более трудные в освоении барьерный бег, прыжок в длину и прыжок в высоту. Наибольшие трудности для освоения вызывает метание копья (мяча, гранаты).

Обученность студентов заочной формы обучения в среднем составляет 88–89%, за исключением барьерного и спринтерского бега (обученность 79–81%). Количество отличных оценок колеблется от 3 до 5% в спринтерском и барьерном беге, прыжках в длину и метании мяча до 8–9% в спортивной ходьбе, прыжках в высоту и толкании ядра; хороших оценок – от 15% в метании мяча до 31% в спортивной ходьбе и удовлетворительных – от 62–67% в прыжках в длину, толкании ядра и метании мяча до 50–55% в остальных видах. Таким образом, для студентов заочной формы обучения наименее трудной для освоения также является спортивная ходьба, а наиболее трудными в освоении – метание мяча, барьерный и спринтерский бег.

Средняя величина показателя обученности студентов дневной формы обучения составила 81%, студентов заочной формы обучения – 86%. При этом среднее количество отличных оценок техники насчитывало соответственно 9 и 6%, хороших – 29 и 22%, удовлетворительных – 43 и 58%. Анализ различий с использованием  $\chi^2$ -критерия показал, что эти различия имеют случайный характер. Однако у студентов дневной формы обучения по сравнению со студентами заочной формы обучения было существенно больше отличных оценок в спринтерском беге, меньше удовлетворительных оценок в прыжках в длину и неудовлетворительных оценок в метании мяча (гранаты), (везде  $p < 0,05$ ).

По окончании педагогического эксперимента обученность студентов экспериментальной группы ДФО оказалась выше, чем студентов контрольных групп на 10–14% (табл. 2). Однако статистический анализ выявил, что практически во всех случаях эти различия несущественны.

Таблица 2

Обученность студентов после окончания педагогического эксперимента, %

Оценка	Экспериментальная группа, n=25			Контрольная группа, n=55		
	Упражнение					
	прыжок в высоту	прыжок в длину	толкание ядра	прыжок в высоту	прыжок в длину	толкание ядра
«5»–«3»	92	92	92	78	78	82
«5»	12	12	8	7	9	5
«4»	48	60	60	25	27	25
«3»	32	20	24	46	42	52
«2»	8	8	8	22	22	18

И только по одному пункту были отмечены статистически значимые сдвиги. В экспериментальной группе значительно большее число студентов получило оценку «4» за технику прыжков в длину с разбега способом «согнув ноги» (60% в экспериментальной группе и 27% в контрольных) и технику толкания ядра со скачком (соответственно 60% и 25%). Везде  $p < 0,05$ .

**Заключение.** Одним из способов активизации познавательной деятельности студентов является использование коллективного способа обучения в сочетании со взаимообучением студентов в парах сменного состава. Это позволяет существенно улучшить профессиональную подготовленность студентов по дисциплине «Легкая атлетика и методика преподавания» за счет применения преимуществ группового обучения и активизации самостоятельной работы студентов по изучению техники видов легкой атлетики на учебных занятиях. Использование группового обучения в сочетании со взаимообучением студентов в парах помогло существенно улучшить техническую подготовленность студентов в прыжках в длину с разбега и толкании ядра со скачком. В экспериментальной группе число студентов, продемонстрировавших хорошее владение основами техники этих видов, составило 60%, в контрольных группах – 25–27% ( $p < 0,05$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Образовательный стандарт высшего образования ОСВО 1-03 02 01-2013: утвержден и введен в действие постановлением М-ва образования Респ. Беларусь от 30.08.2013 г., № 88.
2. Арчибасова, Е.И. Обучение студентов факультета физической культуры на основе интеграции профессионально значимых знаний, умений и навыков (на материале спортивно-пед. дисциплин): дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 / Е.И. Арчибасова. – М., 1998. – 190 л.
3. Боген, М.М. Обучение двигательным действиям / М.М. Боген. – М.: Физкультура и спорт, 1985. – 192 с.
4. Шацкий, Г.Б. Использование профессионально направленного подхода в преподавании спортивно-педагогических дисциплин / Г.Б. Шацкий, О.В. Прокопов, С.С. Рубцов // Инновационные решения актуальных проблем физической культуры и спортивной тренировки: междунар. сб. науч. ст.; под общ. ред. Е.П. Врублевского. – Смоленск: СГАФКСТ, 2009. – С. 589–596.
5. Масальгин, Н.А. Математико-статистические методы в спорте / Н.А. Масальгин. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – 151 с.
6. Коробов, А.В. Школа легкой атлетики (обучение технике видов легкой атлетики) / А.В. Коробов [и др.]; под общ. ред. А.В. Коробова. – М.: Физкультура и спорт, 1962. – 348 с.
7. Методика обучения легкоатлетическим упражнениям: учеб. пособие для ин-тов физ. культуры и ф-тов физ. воспитания / Т.П. Юшкевич [и др.]; под общ. ред. М.П. Кривоносова и Т.П. Юшкевича. – Минск: Выш. школа, 1986. – С. 5–8.
8. Абулькишик, М.А.А. Прогнозирование сроков и качества обучения на основе исследования их вероятностной взаимосвязи (на материале гимнастики) / М.А.А. Абулькишик // Теория и практика физической культуры. – 1998. – № 6. – С. 19–20.

## REFERENCES

1. *Obrazovatelnyi standart vysshego obrazovaniya OSVO 1-03 02 01-2013, utverzhden i vveden v deistvie postanovleniem Ministerstva obrazovaniya Respubliki Belarus ot 30.08.2013 g., № 88* [Academic Standard of Higher Education, Approved and Introduced by 30.08.2013 No 88 Ministry of Education of the Republic of Belarus Decree].
2. Archibasova E.I. *Obucheniye studentov fakulteta fizicheskoi kultury na osnove integratsii professionalno znachimykh znani, umeni i navykov (Na materiale sportivno-ped. distsiplin): dis. .... kand. ped. nauk: 13.00.04* [Training Sports Faculty Students on the Basis of Professionally Significant Knowledge and Skills Integration (Based on Sports Education Disciplines) PhD (Education) Dissertation], Moskva, 1998, 190 p.
3. Bogen M.M. *Obucheniye dvigatel'nykh deystviy* [Training Motion Actions], M., Fizkultura i sport, 1985, 192 p.
4. Shatski G.B., Prokopov O.V., Rubtsov S.S. *Innovatsionnyye reshenia aktualnykh problem fizicheskoi kultury i sportivnoy trenirovki: mezhduнародni sbornik nauchnykh statei* [Innovation Solutions of Current Issues of Physical Training and Sports, International Collection of Scientific Articles], Smolensk, SGAFKST, 2009, pp. 589–596.
5. Masalgin N.A. *Matematiko-statisticheskiye metody v sporte* [Mathematical and Statistic Methods in Sport], M., Fizkultura i sport, 1974, 151 p.
6. Korobov A.V. *Shkola legkoy atletiki (obucheniye tekhnike vidov legkoy atletiki)* [Track and Field School (Training Track and Field Types Technique) M., Fizkultura i sport, 1962, 348 p.
7. Yushkevich T.P. *Metodika obucheniya legkoatleticheskim uprazhneniyam: uch. posobie dlia in-tov fiz. kult. i f-tov fiz. vospit.* [Methods of Teaching Athletic Exercises: Sports Students Textbook], Minsk, Vysh. Shkola, 1986, pp. 5–8.
8. Abulkishik, Muhammed Ali Alahmed. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury* [Theory and Practice of Physical Training], 1998, 6, pp. 19–20.

Поступила в редакцию 19.12.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: Prokopov77@rambler.ru – Прокопов О.В.

УДК [796.035+796.012.62]-053.88

# БИОЛОГИЧЕСКИЙ ВОЗРАСТ И УРОВЕНЬ ЗДОРОВЬЯ ЖЕНЩИН ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ГЕРОНТОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ

Е.П. Сафронова

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет физической культуры»*

Существуют препятствия, которые старается преодолеть каждая женщина в пожилом возрасте. Их невозможно преодолеть полностью, но можно отодвинуть до тех пор, пока у нее есть желание быть молодой. Регулярные занятия геронтологической физической культурой замедляют темп возрастных функциональных изменений.

Цель работы – изучение скорости старения и уровня соматического здоровья как важных показателей функционального состояния организма женщин пожилого возраста, занимающихся геронтологической физической культурой.

**Материал и методы.** Под наблюдением находилась группа женщин пожилого возраста ( $n=20$ ), занимавшихся в группе пилатеса, давших добровольное согласие на участие в исследовании, средний возраст  $62 \pm 0,6$  лет. Занятия проводились в условиях КСЦ «Локомотив» г. Витебска. Тестирование испытуемых состояло из определения антропометрических параметров и индексов, функциональных проб.

**Результаты и их обсуждение.** Статистическая обработка полученных данных показала, что дозированные занятия геронтологической физической культурой с женщинами пожилого возраста способны существенно повлиять на функциональное состояние организма. В значительной мере положительная динамика наблюдается в кардиореспираторной системе женщин пожилого возраста, о чем свидетельствуют существенное увеличение жизненной емкости легких (ЖЕЛ), снижение артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС). В статье приводятся результаты проведенного исследования функционального состояния женщин пожилого возраста, занимающихся геронтологической физической культурой. Рассчитываются показатели биологического возраста и уровня соматического здоровья.

**Заключение.** Подтверждена целесообразность использования регулярных занятий геронтологической физической культурой с женщинами пожилого возраста. Установлено, что в процессе занятий геронтологической физической культурой с женщинами пожилого возраста снижался темп развертывания возрастных функциональных изменений.

**Ключевые слова:** геронтологическая физическая культура, пожилой возраст, биологический возраст, календарный возраст, уровень здоровья.

## BIOLOGICAL AGE AND HEALTH OF ELDERLY WOMEN WHO ARE ENGAGED IN GERONTOLOGICAL PHYSICAL EXERCISES

E.P. Safronova

*Educational Establishment «Belarusian State University of Physical Training»*

There are some obstacles which each elderly woman tries to overcome. It is impossible to overcome them completely; they can only be delayed as long as a woman has a desire to be young. Regular gerontological physical trainings slow down the tempo of age-related functional changes.

The research objective is studying of aging speed and the somatic health level as important indicators of functional condition of elderly women engaged in gerontological physical training.

**Material and methods.** A group of elderly women ( $n=20$ ) who do Pilates and agreed to participate in the research were monitored, the average age is  $62 \pm 0,6$ . The classes were conducted at Sports Center «Lokomotiv» in Vitebsk. The testing of the examinees consisted of anthropometrical parameters and indexes measuring, functional tests.

**Findings and their discussion.** The statistical processing of the data obtained show that gerontological physical training of elderly women can significantly affect functional condition of a body. Considerable positive dynamics is observed in cardiorespiratory system of elderly women, which is proved by a significant increase in lung capacity (LC), lowering of blood pressure (BP), heart rate (HR). The results of the conducted research of the functional condition of elderly women engaged in gerontological physical exercises are given in the article. Biological age indicators and somatic health level are measured.

**Conclusion.** The usefulness of regular gerontological physical training of elderly women is confirmed. It's found out that during elderly women's gerontological physical exercises the tempo of age-related functional changes slowed down.

**Key words:** gerontological physical exercises, elderly age, biological age, calendar age, health level.

**П**о рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 1982 году возраст 65 лет был назван «индикатором пожилого возраста» и выделена группа «престарелых» – люди 80 лет и старше. В связи с этим государство считается молодым, если доля пожилых от 65 лет и старше составляет 4%, старым – от 7% и более [1]. Биологи уверены – наступление старости можно значительно отодвинуть [2; 3]. Старение организма начинается еще тогда, когда ткани и органы продолжают функционировать нормально, но клеточные процессы, отвечающие за сопротивление организма негативным условиям окружающей среды, уже перестают справляться со своей работой. Для предупреждения процесса старения женщин в настоящее время существует множество практических видов деятельности: физических, медицинских, социальных и других. Но основным видом все же следует считать занятия геронтологической физической культурой.

Движение – важнейший атрибут жизни женщин пожилого возраста. Нет более эффективного метода физиологической стимуляции, чем мышечная деятельность. Физическая активность для женщин пожилого возраста является одним из эффективных средств профилактики возрастных изменений и восстановления функциональных возможностей организма [4]. У женщин, ведущих малоподвижный образ жизни, не занимающихся физическими упражнениями, происходит снижение мышечной массы значительно быстрее, чем у активных женщин. Мышечные волокна атрофируются, замещаются соединительной тканью, скорость их сокращения снижается [5]. Физические нагрузки оказывают положительное влияние на организм женщин пожилого возраста. Они улучшают самочувствие, снижают артериальное давление, укрепляют сердечную мышцу и опорно-двигательный аппарат. Занятия физическими упражнениями повышают приспособительные возможности нервной и сердечно-сосудистой систем к различного рода психоэмоциональным влияниям. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос о биологическом возрасте женщин, так как календарный возраст не является критерием состояния здоровья и трудоспособности разных индивидуумов одного и того же года рождения. Происходящие с возрастом изменения в органах и системах женщин пожилого возраста характеризуются индивидуальными различиями. Подобные различия в возрастных изменениях приводят к тому, что одни женщины старше своего возраста, а другие – моложе [6–8].

Проблема биологического возраста далека от разрешения. Она серьезно стала рассматриваться лишь в последние десятилетия. В нынешнее время данные о биологическом возрасте, возрастных нормах, необходимых для правильной и своевременной оценки изменений органов и систем стареющей женщины, ее состояние здоровья имеют большое значение для рационального построения и проведения занятия по геронтологической физической культуре с женщинами пожилого возраста.

Цель работы – изучение скорости старения и уровня соматического здоровья как важных показателей функционального состояния организма женщин пожилого возраста, занимающихся геронтологической физической культурой.

**Материал и методы.** Под наблюдением находилась группа женщин пожилого возраста ( $n=20$ ), занимавшихся в группе пилатеса, давших добровольное согласие на участие в исследовании, средний возраст  $62 \pm 0,6$  лет. Занятия геронтологической физической культурой представляли собой дозированные физические тренировки по направлению пилатеса в течение девяти месяцев два раза в неделю по 45 мин. Место проведения – в условиях КСЦ «Локомотив» г. Витебска. Тестирование испытуемых состояло из определения антропометрических параметров и индексов, функциональных проб. Одновременно рассчитывался уровень соматического здоровья (табл. 2). Устанавливались биологический возраст (БВ), индивидуальный биологический возраст (ИБВ) и должный (ДБВ), а также разница между ними ( $ИБВ - ДБВ = \Delta БВ$ ) [6]. В зависимости от  $\Delta БВ$  полученные результаты ранжировались по шкале А.Л. Решетюка (табл. 1).

Таблица 1

Шкала А.Л. Решетюка

I ранг	от 15 до 9 лет
II ранг	от 8,9 до 3 лет
III ранг	от –2,9 до +2,9 года
IV ранг	от +3 до + 8,9 года
V ранг	от 9 до +15 лет

Таким образом, I ранг соответствует резко замедленному темпу старения, II – замедленному старению, III ранг отражает примерное соответствие БВ и календарного возраста (КВ), IV ранг свидетельствует об ускоренном старении, а V – резко ускоренном темпе старения. Лиц, отнесенных к IV и V рангам по темпам старения, следует включить в угрожаемый по состоянию здоровья контингент.

Рассчитывался уровень соматического здоровья (УСЗ) женщин пожилого возраста, занимающихся геронтологической физической культурой (табл. 2).

Таблица 2

## Оценка уровня соматического здоровья по Г.Л. Апанасенко

Группа	1 (низкий)	2 (ниже среднего)	3 (средний)	4 (выше среднего)	5 (высокий)
Масса тела, г / Рост, см	451 и более	351–450	350 и менее	–	–
Баллы	–2	–1	0	–	–
Жизненная емкость легких, мл / Масса тела, кг	40 и менее	41–45	46–50	51–57	57 и более
Баллы	0	1	2	4	5
Динамометрия правой кисти, кг x 100 / Масса тела, кг	40 и менее	41–50	51–55	56–60	60 и более
Баллы	0	1	2	3	4
ЧСС x АД макс. / 100	111 и более	95–110	85–94	70–84	68 и менее
Баллы	–2	0	2	3	4
Время восстановления ЧСС после 20 приседаний за 30 с.	Более 3 мин	2–3 мин	1,30–1,59	1,00–1,59	59 с и менее
Баллы	–2	1	3	5	7
Оценка здоровья, баллы	4 и менее	5–9	10–13	14–16	17–21

Полученные в результате исследования данные анализировались с вычислением t-критерия Стьюдента. Критический уровень значимости при проверке гипотез  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** В рамках исследования при сравнении результатов жизненной емкости легких (ЖЕЛ) мы установили, что занятия геронтологической физической культурой (ГФК) дают изменения на 3,51% в положительную сторону. В сентябре 2017 года средний показатель ЖЕЛ женщин пожилого возраста, занимающихся в группе ГФК, составлял 2137,5 мл, а в мае 2018 года данный показатель увеличился до 2212,5 мл (рис. 1).

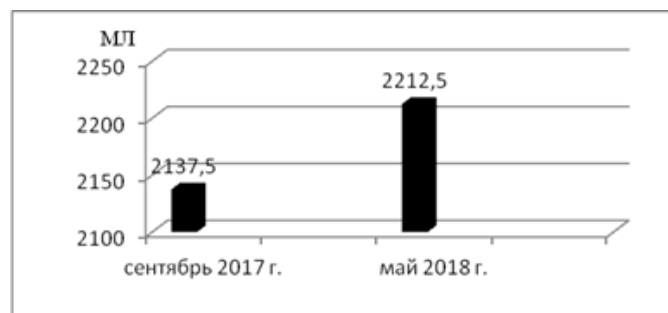


Рис. 1. Средний показатель ЖЕЛ женщин пожилого возраста, занимающихся в группе пилатеса ( $\bar{X}$  в мл)



При определении t-критерия Стьюдента показателей ЖЕЛ женщин, занимающихся ГФК, полученное нами эмпирическое значение  $t_{\text{набл.}}=5,4$  находится в зоне значимости при  $p \leq 0,01$ . Таким образом, отмечается рост исследуемых показателей дыхательной системы у женщин пожилого возраста, занимающихся в группе пилатеса. Регулярные занятия геронтологической физической культурой направлены на улучшение показателей дыхательной системы женщин пожилого возраста.

Об активизации процессов метаболизма свидетельствует статистически значимое уменьшение индекса Кетле. При сравнении результатов исследования индекса Кетле мы установили, что занятия ГФК дают сдвиг на 4,15% в положительную сторону. В сентябре 2017 года средний показатель индекса Кетле у женщин пожилого возраста, занимающихся в группе ГФК, составлял 26,41 (избыток массы тела), а в мае 2018 года данный показатель снизился до 25,36 (норма 20,0–25,9). При определении t-критерия Стьюдента индекса Кетле у женщин, занимающихся ГФК, полученное нами эмпирическое значение  $t_{\text{набл.}}=3,4$  находится в зоне значимости при  $p \leq 0,01$ .

В то же время со стороны силовых показателей за 9 месяцев занятий ГФК не наблюдалось статистически значимых изменений.

При сравнении результатов исследования артериального давления систолического (АДс) мы установили, что занятия ГФК дают изменения на 4,1% в положительную сторону. В сентябре 2017 года средний показатель АДс женщин пожилого возраста, занимающихся в группе ГФК, составлял 126 мл.рт.ст., а в мае 2018 года данный показатель снизился до 121,75 мл.рт.ст. (рис. 2). При сравнении результатов исследования артериального давления диастолического (АДд) также наблюдается положительная динамика. Установили, что занятия ГФК дают сдвиг на 6,6% в положительную сторону. В сентябре 2017 года средний показатель АДд женщин пожилого возраста, занимающихся в группе ГФК, составлял 78,25 мл.рт.ст, а в мае 2018 года данный показатель снизился до 71 мл.рт.ст. (рис. 2).

Сравнение результатов частоты сердечных сокращений выявило сдвиг ЧСС на 7,9% в положительную сторону. В сентябре 2017 года средний показатель ЧСС женщин пожилого возраста составлял 77,7 ударов в минуту, а в мае 2018 года – 72 удара в минуту. Как показывает наблюдение, снижение ЧСС говорит о положительной динамике адаптации сердечно-сосудистой системы женщин пожилого возраста к занятиям геронтологической физической культурой.

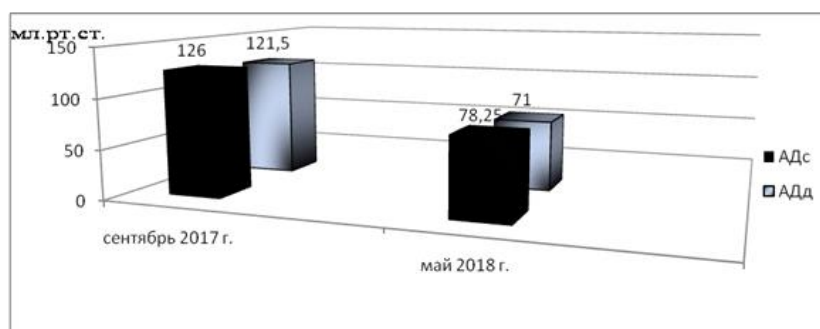


Рис. 2. Динамика АДс и АДд женщин пожилого возраста, занимающихся в группе пилатеса ( $\bar{X}$  в мл рт. ст.)

Исследование уровня соматического здоровья женщин пожилого возраста, занимающихся ГФК, выявило, что в сентябре 2017 года средний показатель в группе составлял 2,4 балла, что свидетельствует о низком уровне здоровья. В мае 2018 года данный показатель вырос до 10 баллов – средний уровень соматического здоровья.

Исследование темпа старения женщин пожилого возраста установило, что колебания между индивидуальным и должным БВ в сентябре 2017 года находились в пределах от +9 до –12 расчетных лет. В среднем испытуемые имели II и III ранги возрастных изменений, т.е. у 30% – замедленная скорость старения, а у 45% – БВ соответствовал их КВ. За девять месяцев тренировочных занятий скорость развития возрастных изменений относительно начальных данных достоверно замедлилась на 8,35 расчетных лет. В мае 2018 года к резко замедленному темпу старения уже относилось 45% контингента занимающихся (I ранг), к замедленному темпу старения – 50% (II ранг), примерное соответствие БВ и КВ – 5% (III ранг) (рис. 3).

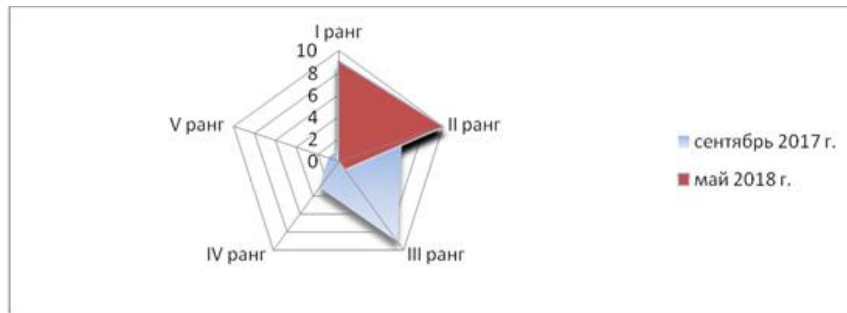


Рис. 3. Частота рангов скорости старения женщин пожилого возраста

Очевидно, что перераспределение рангов в результате занятий геронтологической физической культурой произошло за счет уменьшения III и IV рангов.

Чтобы определить, в какой мере средний показатель степени постарения женщин пожилого возраста, занимающихся геронтологической физической культурой, соответствует среднему показателю КВ обследуемых, следует сравнить средний показатель фактического биологического возраста (ФБВ) и ДБВ. Результаты обследования выявили, что средний показатель КВ в группе занимающихся ГФК составляет 63,15 года, БВ – 54,9 года, ДБВ – 54,8 года, что свидетельствует о малой степени старения женщин пожилого возраста, занимающихся геронтологической физической культурой, т.к.  $\text{ФБВ} - \text{ДБВ} < 0$ . Благодаря вычислению индекса  $\text{ФБВ} : \text{ДБВ}$  было определено, что средний показатель степени постарения женщин, занимающихся ГФК, свидетельствует о меньшей степени постарения, чем лиц, равных с ними по КВ, т.к.  $\text{ФБВ} : \text{ДБВ} < 1$ .

**Заключение.** Статистическая обработка полученных данных показала, что дозированные занятия геронтологической физической культурой с женщинами пожилого возраста способны положительно повлиять на функциональное состояние организма. Произошло снижение темпа старения женщин пожилого возраста, и они перешли в ранг, соответствующий замедленному старению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бреев, Б.Д. К вопросу о постарении населения и депопуляции / Б.Д. Бреев. – М.: СОЦИС, 1998. – С. 262.
2. Апанасенко, Г.Л. Валеология: первые шаги и ближайшие перспективы / Г.Л. Апанасенко // Теория и практика физ. культуры. – 2001. – № 6. – С. 2–8.
3. Белозерова, Л.М. Изучаем возрастную норму / Л.М. Белозерова // Медицина и спорт. – 2006. – № 3–4. – С. 20–21.
4. Пристром, М.С. Средства сохранения здоровья и долголетия / М.С. Пристром, С.Л. Пристром. – Минск: Беларус. навукa, 2009. – С. 80–81.
5. Солодков, А.С. Физиологические особенности организма людей зрелого и пожилого возраста и их адаптация к физическим нагрузкам / А.С. Солодков, Е.Г. Сологуб. – М., 2001. – С. 45–46.
6. Войтенко, В.П. Методика определения биологического возраста человека / В.П. Войтенко, А.В. Токарь, А.М. Полюхов // Геронтология и гериатрия. – Киев: Ин-т геронтологии, 1984. – С. 133–137.
7. Баевский, Р.М. Оценка и классификация уровней здоровья с точки зрения теории адаптации / Р.М. Баевский // Вестник АМН СССР. – 1989. – № 8. – С. 73–78.
8. Кучма, В.Р. Здоровый человек и его окружение: учебник / В.Р. Кучма, О.В. Сивочалова. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 544 с.

#### REFERENCES

1. Breyev B.D. *K voprosu o poatarenii naseleniya i depopulatsii* [On the Issue of Ageing and Depopulation], M., SOTSIS, 1998, 262 p.
2. Apanasenko G.L. *Teoriya i praktika fiz. kulturi* [Theory and Practice of Physical Training], 2001, 6, pp. 2–8.
3. Belozerova L.M. *Meditsina i sport* [Medicine and Sports], 2006, 3–4, pp. 20–21.
4. Pristrom M.S., Pristrom S.L. *Sredstva sokhraneniya zdoroviya i dolgoletiya* [Ways of Health and Longevity Preservation], Minsk, Belarus. navuka, 2009, pp. 80–81.
5. Solodkov A.S., Sologub E.G. *Fiziologicheskiye osobennosti organizma liudei zrelogo i pozhilligo vozrasta i ikh adaptatsiya k fizicheskim nagruzkam* [Physiological Features of Elderly and Old People's Bodies and their Adaptation to Physical Loads], M., 2001, pp. 45–46.
6. Voitenko V.P., Tokar A.V., Poliukhov A.M. *Gerontologiya i geriatriya* [Gerontology and Geriatrics], Kyiv, In-t gerontologii, 1984, pp. 133–137.
7. Bayevski R.M. *Vestnik AMN SSSR* [Journal of the USSR AMSc], 1989, 8, pp. 73–78.
8. Kuchma V.R., Syvochalova O.V. *Zdorovi chelovek i yego okruzheniye: uchebnik* [A Healthy Man and his Environment: Textbook], M., GEOTAR-Media, 2015, 544 p.

Поступила в редакцию 26.11.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: safronovakatya83@mail.ru – Сафронова Е.П.

## КОГНИТИВНЫЙ СТИЛЬ И ОСОБЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПОТРЕБНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ С НАРУШЕНИЯМИ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Е.Ф. Сивашинская

Учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»

Важной характеристикой современного инклюзивного образования является увеличение числа нозологических групп особых обучающихся, одной из которых являются обучающиеся с нарушениями аутистического спектра, в том числе с синдромом Аспергера. Прогнозируется, что в ближайшее время их количество возрастет. Поэтому учреждения образования всех уровней должны быть готовы к созданию адаптивной образовательной среды для таких обучающихся.

Цель статьи – раскрыть основные теоретические и практические аспекты решения проблемы образования обучающихся с нарушениями аутистического спектра с позиции когнитивно-стилевого подхода; охарактеризовать когнитивный стиль, когнитивные особенности и соответствующие им образовательные потребности обучающихся с нарушениями аутистического спектра (на примере обучающихся с синдромом Аспергера).

**Материал и методы.** Материалом исследования послужили научные работы зарубежных и отечественных исследователей по проблемам когнитивных стилей, нарушений аутистического спектра, образования детей и взрослых с данными нарушениями, а также соответствующая образовательная практика, в том числе личный опыт автора статьи по обучению и воспитанию особого обучающегося. Основные методы: теоретический анализ научных источников по проблеме исследования, анализ и обобщение педагогического опыта, результатов образовательной практики, наблюдение, рефлексия.

**Результаты и их обсуждение.** В ходе проведенного исследования уточнено понятие когнитивного стиля в психологии, охарактеризованы особый когнитивный стиль и когнитивные особенности обучающихся с нарушениями аутистического спектра, в том числе с синдромом Аспергера. Обосновано, что выявленный особый когнитивный стиль – «слабое центральное согласование» – выступает как устойчивая специфическая характеристика ребенка с нарушениями аутистического спектра, сохраняющаяся и в его взрослой жизни. Определены образовательные потребности данной категории обучающихся (учащихся, студентов), обусловленные их когнитивным стилем, когнитивными и иными особенностями.

**Заключение.** Обучающиеся с нарушениями аутистического спектра имеют специфические особенности восприятия, переработки и организации информации, которые могут быть охарактеризованы как особый когнитивный стиль. Когнитивный стиль, особенности мышления и познавательной деятельности обучающихся с синдромом Аспергера наряду с отставанием в моторном развитии, нарушениями «модели психического» и исполнительной функции определяют особые образовательные потребности данной группы обучающихся в любом возрасте.

**Ключевые слова:** когнитивный стиль, нарушения аутистического спектра, синдром Аспергера, особые образовательные потребности, инклюзивное образование.

## COGNITIVE STYLE AND SPECIAL EDUCATION NEEDS OF PUPILS WITH OUTIST SPECTRUM DISABILITIES

E.F. Sivashinskaya

Educational Establishment «Brest State A.S. Pushkin University»

Contemporary inclusive education is characterized by an increased number of nosological groups of special learners one of which is pupils with outist spectrum disabilities, those with Asperger syndrome. The increase in their number is forecasted. That is why educational establishments of all levels should be ready to create adaptive academic environment for such pupils.

The purpose of the paper is to reveal main theoretical and practical aspects of the solution of the problem of educating pupils with disabilities of the outist spectrum from the point of view of the cognitive and style approach; to characterize the cognitive style, cognitive features and the corresponding educational needs of pupils with outist disabilities (on the example of learners with Asperger syndrome).

**Material and methods.** The research material was scientific works by home and foreign researchers on the problems of cognitive styles, disabilities of outist spectrum, educating children and grown-ups with these disabilities as well as the corresponding academic practice, including the author's personal experience of teaching and upbringing a special learner. The main research methods are a theoretical analysis of research papers on the issue, analysis and summarizing pedagogical experience, education practice findings, observation, reflection.

**Findings and their discussion.** During the research the notion of the cognitive style in psychology was specified, special cognitive style and cognitive features of pupils with outist spectrum disabilities were characterized, including pupils with Asperger syndrome. It was found out that the revealed special cognitive style, «weak central agreement», is a stable specific feature of a child with outist spectrum disabilities, which stays in his adult life as well. Educational needs of this category of learners (pupils, students) are singled out which are conditioned by their cognitive style, cognitive and other features.

**Conclusion.** Pupils with outist spectrum disabilities have specific features of perception, processing and organization of information, which can be characterized as a special cognitive style. The cognitive style, features of thinking and cognitive activity of pupils with Asperger syndrome, along with retarding in motor development, infringement of «the model of psychic» and the executive function, determine special education needs of this group of learners at any age.

**Key words:** cognitive style, outist spectrum disabilities, Asperger syndrome, special educational needs, inclusive education.

Существование разных категорий обучающихся, каждая из которых имеет свои образовательные потребности, является в настоящее время педагогической ценностью. Практическое освоение этой ценности педагогическим сообществом предполагает реализацию инклюзивного образования на всех уровнях основного и дополнительного образования для обучающихся с особенностями психофизического развития (далее ОПФР). Современное инклюзивное образование характеризуется увеличением числа нозологических групп особых обучающихся. Одна из таких групп – обучающиеся с нарушениями аутистического спектра (далее НАС), в том числе с синдромом Аспергера (далее СА).

В нынешнее время произошли существенные перемены в понимании и диагностике нарушений аутистического спектра. Прежде всего, были расширены диагностические критерии данных нарушений (расстройств). С улучшением их диагностики становятся актуальными ранее практически не известные и не решаемые в образовании проблемы. Одна из них – освоение такими детьми и взрослыми образовательных программ основного (дошкольного, общего среднего и т.д.) образования. Установлено, что аутистические нарушения могут сочетаться с хорошо развитым интеллектом, интенсивным интересом к отдельным областям знаний, а в некоторых случаях – с талантом и выдающимися способностями. Кроме того, специалисты разных стран отмечают постоянное увеличение количества детей, находящихся в спектре аутизма. Прогнозируется, что в ближайшее время возрастет количество обучающихся с НАС, в том числе с СА, которые будут осваивать содержание образования не только в учебных заведениях общего среднего, но и иных уровней образования, включая высшее и послевузовское. Поэтому учреждения образования должны быть готовы предоставить образовательные ресурсы подобным обучающимся, создав для них необходимую адаптивную образовательную среду.

Цель статьи – раскрыть основные теоретические и практические аспекты решения проблемы образования обучающихся с нарушениями аутистического спектра с позиции когнитивно-стилевого подхода; охарактеризовать когнитивный стиль, когнитивные особенности и соответствующие им образовательные потребности обучающихся с НАС (на примере обучающихся с СА).

**Материал и методы.** Материалом исследования послужили научные работы зарубежных и отечественных исследователей по проблемам когнитивных стилей, нарушений аутистического спектра, образования детей и взрослых с данными нарушениями, а также соответствующая образовательная практика, в том числе личный опыт автора статьи по обучению и воспитанию особого обучающегося. Основные методы: теоретический анализ научных источников по проблеме исследования, анализ и обобщение педагогического опыта, результатов образовательной практики, а также наблюдение и рефлексия.

**Результаты и их обсуждение.** Сегодня наметилась тенденция к увеличению количества детей с нарушениями аутистического спектра в учреждениях образования. При этом обучение вместе с нейротипичными сверстниками остается острой проблемой. Очевидно, что создание адаптивной образовательной среды для детей с НАС невозможно без знания особенностей их мышления и познавательной деятельности и соответствующих этим особенностям образовательных потребностей.

Охарактеризуем данные особенности, опираясь на результаты исследований по изучаемой нами проблеме. В научных источниках подчеркивается, что нарушения аутистического спектра охватывают как сенсорные, так и моторные функции, однако основные проблемы адаптации людей с НАС связаны с особенностями переработки информации и связыванием ее в единое целое. Как известно, разные структуры (отделы) головного мозга выполняют свои специфические функции: переработку информации, решение социальных задач (эмоциональное реагирование, распознавание лиц, понимание социальных ролей), организацию поведения и др. При этом для успешной работы мозга необходима коннективность этих структур – установление связей между ними. В нейропсихологических исследованиях изучаются связи функционирования головного мозга детей с НАС с психическими процессами, познавательной деятельностью, поведением и др. Установлено, что мозг человека с НАС характеризуется нетипично сформированными связями между отделами головного мозга, то есть атипичной коннективностью. Выявлена также атипичная активация отделов головного мозга при решении различных интеллектуальных и информационных задач. В частности, в исследованиях регистрируется низкая активность отделов мозга, образующих функциональные системы при решении социальных задач, переработке языка и речи, когнитивном контроле и т.п. [1; 2].

В. Nason в ходе изучения процесса когнитивной обработки информации у представителей аутистического спектра выделил три группы их основных трудностей: особенности обработки информации; ригидное, негибкое мышление; проблемы выполнения функций. Автор подчеркивает, что у детей с НАС мозг работает иначе, чем у нейротипичных детей. Мозг последних способен к быстрой обработке большого потока разнородной информации. Благодаря хорошему взаимодействию различных центров мозга по интеграции поступающей в них информации значительная часть такой обработки осуществляется подсознательно с минимальными умственными усилиями. Напротив, у детей с НАС способность мозговых центров к взаимодействию и интеграции поступающей информации нарушена, информация распределяется хаотично. Мозг детей с НАС обрабатывает поступающую информацию «последовательно», шаг за шагом. Для понимания общего смысла им необходимо сознательно отсортировать и последовательно проанализировать большое количество конкретных деталей [3]. В. Nason также подчеркивает, что последовательное обдумывание не только замедляет обработку информации, но и приводит к частичной ее потере. Поэтому интерпретация частичной информации и поведение ребенка с НАС, вытекающее из нее, часто оказываются вне контекста. Кроме того, как известно, часть людей с НАС обладает визуальным мышлением. Для понимания смысла им приходится переводить словесную информацию в визуальную, что еще больше замедляет процесс обработки информации.

Выводы, к которым пришел В. Nason, подтверждаются результатами исследований работы головного мозга, полученными методами картирования. В частности, установлено, что мозг человека с НАС «характеризуется слабыми связями между находящимися далеко друг от друга структурами и слишком сильными связями в локальных сетях» [1, с. 178]. На это же указывают другие авторы, полагающие, что нарушения в интеграции получаемой информации вызваны «утратой связей между специализированными локальными нейронными сетями, а также излишними связями внутри нейронных ансамблей» [2, с. 586].

Можно утверждать, что между когнитивными особенностями и особенностями работы нервной системы рассматриваемой группы детей существует причинно-следственная связь. Их «нервная система более хрупка, дезорганизована и тревожна. Ей крайне трудно обрабатывать такое неровное, хаотичное течение дневных событий» [3, с. 36]. С одной стороны, нервная система ребенка с НАС испытывает трудности даже с обычными дневными задачами, она быстро истощается, что снижает ее способность продуктивно обрабатывать информацию, истощает ее энергетическое обеспечение. С другой стороны, последовательный характер обработки информации требует больших затрат умственной энергии, что перегружает нервную систему, физическая и психическая энергия тратится намного быстрее. Это значит, что от ребенка, например в школе, обычная обработка информации и решение повседневных задач потребуют гораздо больше психической энергии, чем от нейротипичных детей. Как показывает образовательная практика, обычно информация поступает быстрее, чем мозг ученика с НАС может ее переработать, поэтому происходит энергетическое истощение и перегрузка мозга, нервной системы в целом, что ведет к «выключению» или эмоциональному срыву особого ученика.

Охарактеризованные выше особенности мышления и познавательной деятельности детей с НАС обуславливают их иные, чем у детей без таких нарушений, способы мышления. Мышление индиви-

дов с НАС имеет свои преимущества и дефициты. Преимущества заключаются в том, что они хорошо анализируют детали, запоминают факты, статистику и другую статичную информацию; видят сенсорные паттерны, механические и электрические детали; имеют хорошую эйдетическую память, достаточно высокий уровень развития конкретно-логического мышления. «Недостатки» мышления состоят в медленной последовательной обработке информации; трудностях в обработке быстро изменяющейся информации, в восприятии и понимании целостной картины, в определении важного и второстепенного; трудностях с абстрактным мышлением, требующим постоянного выполнения логических мыслительных операций (абстрагирование, обобщение и др.); трудностях в понимании нечетких, множественных значений, решении большого количества задач или усвоении слишком большого объема информации.

Следует подчеркнуть, что обычно в центре внимания исследователей феномена НАС находятся именно когнитивные дефициты и дисфункции, которые свойственны их обладателям [4–6]. Между тем, более продуктивным подходом к пониманию природы когнитивных и иных особенностей детей с НАС является стилевой подход, ценность которого, по утверждению М.А. Холодной, заключается в «попытке ввести безоценочный взгляд на интеллектуальные возможности человека» [7, с. 41]. Автор справедливо полагает, что «к когнитивным стилям не применимы оценочные суждения, так как представители того или другого полюса каждого когнитивного стиля имеют определенные преимущества в тех ситуациях, где их индивидуальные познавательные качества способствуют эффективной индивидуальной адаптации» [7, с. 40].

Традиционно когнитивные стили трактуются в психологии как индивидуально-своеобразные способы переработки информации, проявляющиеся в виде индивидуальных различий в восприятии, анализе, структурировании, категоризации, оценивании происходящего. В научной литературе приводится характеристика различных когнитивных стилей. Основу феноменологии стилевого подхода составляют следующие когнитивные стили (с учетом их биполярности): полнезависимость / полнезависимость; узкий / широкий диапазон эквивалентности; узость / широта категории; ригидный / гибкий познавательный контроль; толерантность / нетолерантность к нереалистическому опыту; фокусирующий / сканирующий контроль; сглаживание / заострение; импульсивность / рефлексивность; конкретная / абстрактная концептуализация; когнитивная простота / сложность [7]. Считаем, что дети с СА так же, как и нейротипичные дети, могут иметь разные стилевые предпочтения в силу их индивидуального своеобразия. Однако свойственная им «триада нарушений» (L. Wing) – нарушения социального взаимодействия, социальной коммуникации и воображения – в большой степени обуславливает их склонность к таким полюсам вышеназванных когнитивных стилей, как полнезависимость (по отдельным признакам), узкий диапазон эквивалентности, ригидный познавательный контроль, нетолерантность к нереалистическому опыту, фокусирующий контроль, заострение, конкретная концептуализация и др.

В дальнейшем в список обозначенных когнитивных стилей были включены и другие формы стилевого поведения. Наблюдение за детьми с СА и анализ соответствующей образовательной практики привели нас к выводу об их склонности к следующим когнитивным стилям (по М.А. Холодной): буквальность (как тенденция ориентироваться на фактические характеристики объекта на основе учета его семантического значения); визуализация (предпочтение использовать в процессах переработки информации образные стратегии); сериалистичность (склонность изучать материал по типу «шаг за шагом», обращая внимание на отдельные аспекты задачи); конвергентность (преобладание узкого, фокусированного, аналитического, логического способа мышления в ситуации решения проблем); ассимилятивность (склонность решать проблемы в границах некоторых правил, интерпретируя новые события в терминах ранее усвоенного опыта); медленное течение психического времени в виде субъективной оценки хода физического времени (полюс медленного времени коррелирует с интроверсией и мотивацией избегания); дифференциальность как стиль индивидуальности, связанный со своеобразием «образа мира» человека (проявляется в конкретности и ситуативности «образа мира», фрагментарном восприятии действительности).

Для нашего исследования представляет также интерес вывод М.А. Холодной о том, что фиксированность стилевого свойства и экстремальный характер его проявления приводят к снижению интеллектуальной продуктивности [7]. При этом, как установлено, лица, имеющие крайнюю степень выраженности любого из когнитивных стилей, являются менее адаптивными в отличие

от тех, кто располагается в среднем диапазоне. Подобные выводы применимы к детям и взрослым с НАС, которые, как правило, тяготеют к крайним позициям когнитивных стилей. Более того, по утверждению М.А. Холодной, степень сформированности непроизвольного интеллектуального контроля как избирательной регуляции процесса переработки информации на субсознательном уровне «выступает в качестве того звена, которое связывает эффекты продуктивности, мобильности и крайних позиций когнитивных стилей» [7, с. 222]. Как показано выше, низкий уровень сформированности непроизвольного интеллектуального контроля обычно характерен для детей с НАС. И именно его недостаточность нередко затрудняет возможность перехода их на противоположный тип стилевого поведения. Выраженность же стилевого свойства в этом случае оказывается максимальной, что и приводит к снижению интеллектуальной продуктивности у обучающихся с НАС.

Следует также согласиться с предположением М.А. Холодной о том, что крайние значения стилевых свойств могут быть свидетельством дефицита интеллектуальных ресурсов субъекта. Данный вывод, по нашим наблюдениям, имеет прямое отношение к обучающемуся с СА. Наряду с этим в качестве одного из показателей его интеллектуального развития можно рассматривать развитие способности к децентрации (возможность одновременно принимать во внимание несколько аспектов ситуации, а также воспроизводить ее характеристики независимо от собственной эгоцентрической позиции) [7].

Вышесказанное позволяет заключить, что о когнитивном стиле людей с СА в прямом смысле можно говорить в том случае, если у них сформированы непроизвольный интеллектуальный контроль, психические механизмы, отвечающие за управление процессом переработки информации, а также способность к саморегуляции собственных аффективных состояний. В противном случае исследователи ведут речь об «особом когнитивном стиле», являющемся устойчивой специфической характеристикой, сохраняющейся и во взрослой жизни ребенка с аутизмом [8].

Согласно Т. Attwood, U. Frith, F. Нарре и др. аутистические нарушения определяются когнитивным стилем, смещенным в сторону локальной, а не глобальной обработки информации. Данный стиль они обозначили термином «слабое центральное согласование (weak central coherence)» [5; 6; 9]. С позиции U. Frith, дети с НАС демонстрируют обработку информации с фокусировкой на деталях, «теряя» при этом глобальную конфигурацию и содержащиеся в контексте смыслы [6]. Данную черту мышления детей с НАС отмечал также L. Kanner, один из первых исследователей феномена аутизма. Он, по утверждению F. Нарре, писал о склонности ребенка с аутизмом к фрагментарному восприятию информации, о его неспособности воспринимать целое, отвлекаясь от образующих его деталей [9]. На тот факт, что фрагментарность в организации целостной картины при НАС с ослаблением центральной связывающей силы при восприятии и переработке информации является особым когнитивным стилем, устойчивой специфической характеристикой ребенка с НАС, сохраняющейся и во взрослой жизни, указывают также О.С. Никольская и М.Ю. Веденина [8]. В современной научной литературе подчеркивается, что у детей с НАС нарушается не только перцептивно-когнитивная переработка информации, но и «формирование внутреннего образа внешнего раздражителя, что препятствует адекватной оценке действительности и адаптивному поведению» [2, с. 586].

В контексте рассматриваемой нами проблемы представляют интерес еще две психологические теории аутизма, объясняющие его ключевые проявления, в том числе когнитивные особенности. Одна из них – теория (модель) психического («theory of mind»). Ее создатели U. Frith, A. Leslie, S. Baron-Cohen утверждают, что триада поведенческих нарушений при НАС обусловлена повреждением фундаментальной человеческой способности понимать намерения других людей. Как подчеркивает F. Нарре, данная теория может объяснить не только нарушения, но и сохранность некоторых функций. В частности, из нее следует, что в случае НАС любая способность, требующая участия только первичных репрезентаций (отражение того, что реально существует в мире), может оставаться сохранной. При этом возможны хорошая механическая память, коэффициент интеллекта выше среднего, определенные выдающиеся способности, которые наблюдаются нередко у индивидов с НАС, особенно с СА [10].

Следующая психологическая теория аутизма описывает нарушения исполнительной функции, в том числе функции планирования и контроля своих действий. Согласно точке зрения Т. Attwood, многие проблемы, с которыми сталкиваются дети с СА в процессе образования, обусловлены именно нарушениями исполнительной функции. Она включает низкие способности (вплоть до неспособности) к планированию долгосрочных задач, организации деятельности, контролю импульсов, рефлексии, управлению временем

и расстановке приоритетов, пониманию комплексных и абстрактных концепций, применению новых стратегий, проблемы с рабочей памятью и др. [5]. По нашим наблюдениям, нарушения исполнительской функции становятся более заметными у подростков и взрослых обучающихся, так как учебные программы все более усложняются, обучение требует большей самостоятельности, организованности, умений планировать свою деятельность, определять приоритеты и т.п. Важно также понимать, что у обучающихся с СА часто нарушены все компоненты внимания: способность удерживать внимание, уделять внимание релевантной информации, переключать внимание в случае необходимости и кодировать внимание (то есть запоминать то, чему уделяешь внимание). Следует подчеркнуть, что у них уровень внимания зависит от уровня мотивации и желания заниматься тем или иным видом деятельности.

Наблюдения ученых (Т. Attwood, О.С. Никольская и др.), образовательная практика, наш личный опыт обучения и воспитания особого обучающегося свидетельствуют о том, что все вышеназванные особенности детей с СА так или иначе сохраняются в юношеском возрасте, а также у взрослых, хотя их интенсивность может ослабевать или, наоборот, усиливаться. Например, могут нарастать проблемы с исполнительской функцией и коммуникацией, возникать трудности произвольной организации. В целом, как подчеркивают исследователи феномена НАС, в том числе СА, видимые улучшения симптоматики возможны, но трудности остаются на протяжении всей жизни.

В предыдущих работах по рассматриваемой проблеме нами были охарактеризованы образовательные потребности обучающихся с СА, обусловленные особенностями их психофизического развития [11; 12]. В данной статье выделим те образовательные потребности, которые связаны с особым когнитивным стилем и когнитивными особенностями обучающихся с СА. Такой обучающийся, как правило, нуждается в:

- индивидуально дозированном введении в процесс обучения и воспитания в группе нормативно развивающихся сверстников;
- персональном сопровождении педагогом-ассистентом (выполняет функции «исполнительного секретаря» и др.), а также психолого-педагогическом сопровождении специалистами социально-педагогической и психологической службы учреждения образования (оказывают коррекционно-психологическую и коррекционно-педагогическую помощь и др.);
- предоставлении ему максимально регламентированной образовательной среды с четкой и упорядоченной пространственно-временной структурой, поддерживающей его учебную и иную деятельность;
- индивидуальном образовательном маршруте (организация обучения и воспитания с учетом специфики освоения информации, умений и навыков; индивидуализация содержания учебных программ, в том числе для развития существующих у обучающегося избирательных способностей; гибкое расписание; сочетание индивидуальных и групповых учебных занятий; при необходимости увеличение сроков обучения и др.);
- индивидуализированной (с учетом когнитивных, личностных особенностей) системе (методы, формы, средства) контроля и оценки учебных и иных достижений;
- специальной отработке форм адекватного учебного и социального поведения, умений взаимодействия с педагогами и сверстниками;
- создании условий обучения, обеспечивающих сенсорный и эмоциональный комфорт обучающегося.

Общие образовательные потребности обучающихся с СА конкретизируются с учетом их возрастной специфики. Так, студент учреждения высшего образования с СА нуждается в удобном месторасположении в аудитории (отдельное место в стороне от общей массы студентов, напротив доски, в поле зрения преподавателя для сведения к минимуму внешних раздражителей и установления быстрой обратной связи); в дополнительном (неоднократном) объяснении правил выполнения учебных заданий, иных требований, связанных с организацией учебной работы или других видов деятельности; в предоставлении материалов лекций и практических занятий, дидактических материалов в электронном виде; в выделении дополнительного времени на выполнение письменных работ (контрольных, лабораторных, конспектов, рефератов и т.п.) и тестовых заданий, обдумывание устного и письменного ответа, в том числе в ходе зачетов и экзаменов; в вариативности сроков выполнения различных видов учебной деятельности, научно-исследовательской работы и др. В целом ему, как и учащемуся школы, необходимы персональное педагогическое сопровождение и индивидуальный образовательный маршрут, а также адаптированная образовательная среда.



**Заключение.** Особенности развития когнитивной сферы обучающихся с НАС нередко маскируются более очевидными аффективными проблемами. Они имеют специфические особенности восприятия, переработки и организации информации, которые могут быть охарактеризованы как особый когнитивный стиль. Выявленный особый «когнитивный стиль» – «слабое центральное согласование» – является устойчивой специфической характеристикой ребенка с НАС, в том числе с СА, сохраняющейся и в его взрослой жизни. Когнитивный стиль, особенности мышления и познавательной деятельности обучающихся с СА наряду с отставанием в моторном развитии, нарушениями «модели психического», исполнительской функции определяют особые образовательные потребности данной группы обучающихся в любом возрасте. Знание и учет образовательных потребностей обучающихся с НАС в ходе их обучения и воспитания позволяют создать необходимую им адаптивную образовательную среду в учреждениях образования, а значит, и более эффективно осуществлять их образовательную инклюзию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григоренко, Е.Л. Расстройства аутистического спектра. Вводный курс: учеб. пособие для студентов / Е.Л. Григоренко. – М.: Изд. дом «Практика», 2018. – 280 с.
2. Луцкекина, Е.А. Расстройства аутистического спектра. Обзор современных экспериментальных исследований / Е.А. Луцкекина, В.Б. Стрелец // Журнал высшей нервной деятельности. – 2014. – Т. 64, № 6. – С. 585–599.
3. Нейсон, Б. О ключевых проблемах аутизма. Когнитивные особенности обработки информации / Б. Нейсон; пер с англ. Л.Г. Бородинной // Аутизм и нарушения развития. – 2015. – № 4(49). – С. 33–38.
4. Дети и подростки с аутизмом. Психологическое сопровождение / О.С. Никольская [и др.]. – М.: Теревинф, 2011. – 224 с.
5. Attwood, T. The Complete Guide to Asperger's syndrome / T. Attwood. – London: Jessica Kingsley Publishers, 2006. – 397 p.
6. Frith, U. Autism and «theory of mind» / U. Frith // Diagnosis and treatment of autism. – New York: Plenum press, 1989. – P. 33–52.
7. Холодная, М.А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума / М.А. Холодная. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 384 с.
8. Никольская, О.С. Особенности психического развития детей с аутизмом / О.С. Никольская, М.Ю. Веденина // Альманах Института коррекционной педагогики. – 2014. – Альманах № 18 «Детский аутизм: пути понимания и помощи». – Режим доступа: <https://alldf.ru/ru/articles/almanah-18/osobennosti-psiicheskogo-razvitiya-detej-s-146>. – Дата доступа: 10.11.2018.
9. Happe, F. Autism: cognitive deficit or cognitive style? / F. Happe. – Trends in Cognitive Sciences. – 1999. – Vol. 3, No. 6. – P. 216–222.
10. Аппе, Ф. Введение в психологическую теорию аутизма / Ф. Аппе; пер. с англ. Д.В. Ермолаева. – М.: Теревинф, 2013. – 216 с.
11. Сивашинская, Е.Ф. Дети с синдромом Аспергера. Взаимодействие в семье и школе / Е.Ф. Сивашинская; Брест. гос. ун-т имени А.С. Пушкина. – Брест: БрГУ, 2012. – 99 с.
12. Сивашинская, Е.Ф. Педагогические условия инклюзивного образования студентов с нарушениями аутистического спектра / Е.Ф. Сивашинская // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 3, Філалогія. Педагогіка. Псіхалогія. – 2017. – № 2. – С. 117–125.

## REFERENCES

1. Grigorenko E.L. *Rastroistva autisticheskogo spectra. Vvodni kurs. Uchebnoye posobiye dlia studentov* [Disabilities of Outist Spectrum. Introductory Course. Textbook], M., Izd. dom «Praktika», 2018, 280 p.
2. Lushchekina E.A., Strelets V.B. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatelnosti* [Journal of Higher Nervous Activity], 2014, 64(6), pp. 585–599.
3. Neison B. *Autism i narusheniya razvitiya* [Outism and Development Infringements], 2015, 4(49), pp. 33–38.
4. Nikolskaya O.S., Bayenskaya E.R. *Deti i podrostki s autizmom. Psikhologicheskoye soprovozhdeniye* [Children and Teenagers with Outism. Psychological Support], M., Terevinf, 2011, 224 p.
5. Attwood, T. The Complete Guide to Asperger's syndrome / T. Attwood. – London: Jessica Kingsley Publishers, 2006. – 397 p.
6. Frith, U. Autism and «theory of mind» / U. Frith // Diagnosis and treatment of autism. – New York: Plenum press, 1989. – P. 33–52.
7. Kholodnaya, M.A. *Kognitivniye stili. O prirode individualnogo uma* [Cognitive Styles. On the Nature of Individual Mind], SPb., Piter, 2004, 384 p.
8. Nikolskaya O.S., Vedenina M.Yu. *Almanakh Instituta korrektsionnoi pedagogiki* [Almanac of the Institute of Correction Education], 2014, Available at: <https://alldf.ru/ru/articles/almanah-18/osobennosti-psiicheskogo-razvitiya-detej-s-146>. – Accessed: 10.11.2018.
9. Happe, F. Autism: cognitive deficit or cognitive style? / F. Happe. – Trends in Cognitive Sciences. – 1999. – Vol. 3, No. 6. – P. 216–222.
10. Happe F. *Vvedeniye v psikhologicheskuyu teoriyu autizma* [Introduction into the Psychological Theory of Outism], M., Terevinf, 2013, 216 p.
11. Sivashinskaya E.F. *Deti s sindromom Aspergera. Vzaimodeistviye v semiye i shkole* [Children with Asperger Syndrome. Interaction in the Family and the School], Brest, BrGU, 2012, 99 p.
12. Sivashinskaya E.F. *Vesnik Brestskaga universiteta. Ser. 3, Filalogiya. Pedagogika. Psikhologiya* [Journal of Brest University], 2, 2017, pp. 117–125.

Поступила в редакцию 23.11.2018

Адрес для корреспонденции: e-mail: sivashinskaya@mail.ru – Сивашинская Е.Ф.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ РОДИТЕЛЕЙ УЧАЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В.И. Турковский, Н.И. Бумаженко, М.В. Швед

*Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»*

В Республике Беларусь на сегодняшний день актуальным направлением в развитии системы образования является инклюзия, ориентированная на недопущение любого вида дискриминации. В рамках инклюзивного образования с целью оказания помощи родителям, воспитывающим детей с особенностями психофизического развития, организуются группы психолого-педагогического сопровождения.

Цель статьи – изучение мнения родителей об особенностях организации взаимодействия школы и семьи в условиях инклюзивного образовательного пространства.

**Материал и методы.** Исследование проводилось на базе государственного учреждения образования «Средняя школа № 46 г. Витебска». Общее количество респондентов – 20 родителей учащихся с особенностями психофизического развития. Использовались следующие методы: анкетирование; эксперимент (констатирующий); количественный и качественный анализ полученных фактических данных; математические и статистические методы обработки данных исследования (угловое преобразование Фишера).

**Результаты и их обсуждение.** Исследование показало, что взаимодействие между школой и родителями, воспитывающими детей с особенностями психофизического развития, имеет свою специфику. Выявлены как положительные, так и проблемные аспекты данного феномена. Организация психолого-педагогического сопровождения родителей, учащихся в условиях инклюзивного образования находится на этапе поиска и апробации эффективных путей оказания помощи и поддержки. На сегодняшний день родители занимают нейтральную позицию, лишь малый процент готов к активному сотрудничеству с педагогическим коллективом учреждения образования.

**Заключение.** В связи с активным формированием инклюзивного образовательного пространства актуальным являются вопросы просвещения родителей. Учет его особенностей будет способствовать повышению качества деятельности коллектива школы по организации комплексного сопровождения родителей учеников с особенностями психофизического развития. Внедрение разработанного цикла тренинговых мероприятий для родителей позволит сделать более эффективным формирование инклюзивной культуры.

**Ключевые слова:** инклюзия, инклюзивное образование, инклюзивная образовательная среда, особенности психофизического развития.

## ORGANIZATION OF PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL SUPPORT FOR PUPILS' PARENTS IN THE CONDITIONS OF INCLUSIVE EDUCATION

V.I. Turkovsky, N.I. Bumazhenko, M.V. Shved

*Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»*

In the Republic of Belarus today, an important direction in the development of the education system is inclusion, aimed at preventing any kind of discrimination. Within the framework of inclusive education, groups of psychological and pedagogical support are organized to help parents raising children with peculiar psychophysical development.

The purpose of the article is to determine the organization of psychological and pedagogical support for parents of students in an inclusive education using a questionnaire.

**Material and methods.** The study was conducted on the basis of the State Educational Establishment «Secondary School No. 46 of Vitebsk». The total number of persons involved in the study was 20 parents of students with peculiar psychophysical

*development. The following methods were used: survey; method of experiment (ascertaining); quantitative and qualitative analysis of the actual data obtained; mathematical and statistical methods for processing research data (Fisher's angular transformation).*

**Findings and their discussion.** *The study showed that the interaction between the school and parents of students with peculiar psychophysical development has its specific features. Both positive and problem aspects of this phenomenon are identified. The organization of psychological and pedagogical support for parents of students in an inclusive education is at the stage of search and testing efficient ways of rendering such support. To date parents are neutral, only a small number of them are ready to actively cooperate with teachers.*

**Conclusion.** *Today, the ideas of inclusive education and parents' involvement are relevant. Considering this will contribute to the quality of the school's activity on complex support for parents of students with peculiar psychophysical development. The introduction of the developed cycle of training events for parents will improve the efficiency of inclusive culture.*

**Key words:** *inclusion, inclusive education, inclusive educational environment, peculiarities of psychophysical development.*

**В** Республике Беларусь на сегодняшний день актуальным направлением в развитии системы образования является инклюзия. Важный этап на пути формирования инклюзивного подхода в образовании – модель образовательной и социальной интеграции учащихся с особыми образовательными потребностями в систему общего образования [1]. Интегрированное обучение и воспитание определяется как организация специального образования, в рамках которого обучение и воспитание лиц с особенностями психофизического развития (ОПФР) осуществляется одновременно с лицами, не имеющими особенностей в развитии. Инклюзивное образование подразумевает обеспечение доступности, приспособление образовательной системы и каждого учреждения образования к разнообразию особенностей и специфике потребностей каждого ребенка, в том числе и детей с ОПФР [2; 3]. Сопоставив эти модели организации школьного обучения, можно сделать вывод, что при интеграционном подходе ребенок с ОПФР адаптируется к системе образования, которая при этом остается неизменной, а при инклюзивном подходе система образования проходит цикл преобразований и приобретает возможность адаптироваться к потребностям каждого ученика [4].

В Республике Беларусь на базе восьми общеобразовательных учреждений реализуется экспериментальный проект по апробации модели инклюзивного образования и насчитывается 20 инклюзивных классов. Витебская область представлена государственным учреждением образования «Средняя школа № 46 г. Витебска», государственным учреждением образования «Средняя школа № 8 г. Новополоцка» и государственным учреждением образования «Витебский областной центр коррекционно-развивающего обучения и реабилитации».

В государственном учреждении образования «Средняя школа № 46 г. Витебска» существует три инклюзивных класса – два вторых и один восьмой. В школе занимаются 29 детей с особенностями в развитии и реализуются все модели обучения детей с ОПФР (специальные, интегрированные и инклюзивные классы). Для оказания помощи родителям, воспитывающим детей с ОПФР, организована группа психолого-педагогического сопровождения, функционирование которой предполагает комплексный характер деятельности специалистов и интегрирует основные структурные элементы психологической, педагогической, медицинской, социальной, правовой помощи, оказываемой детям и их родителям.

Цель статьи – изучение мнения родителей об особенностях организации взаимодействия школы и семьи в условиях инклюзивного образовательного пространства.

**Материал и методы.** Для исследования позиции родителей по отношению к инклюзивному образованию, информированности о группах психолого-педагогического сопровождения и участия родителей в таких группах нами была разработана анкета. В анкете предложено 22 вопроса открытого и закрытого типа и 6 предложений, требующих завершения. Каждый из испытуемых выполнял один и тот же набор заданий в сходных условиях. Общее количество респондентов – 20 родителей (10 семей, воспитывающих детей с ОПФР). Исследование проводилось с сентября 2017 г. по апрель 2018 года на базе государственного учреждения образования «Средняя школа № 46 г. Витебска».

**Результаты и их обсуждение.** Анализируя ответы респондентов на вопрос о необходимости сотрудничества школы и родителей, мы пришли к выводу, что данная форма работы является весьма важной и востребованной (100% опрошенных подтвердили этот факт).

Несмотря на то, что в анкетировании принимали участие родители, чьи дети обучаются в инклюзивных классах, определение понятия «инклюзивное образование» вызвало затруднение. Так,

только 40% респондентов определили инклюзивное образование как совместное обучение детей с ОПФР и детей с нормой. Пример, иллюстрирующий ответы испытуемых: «Инклюзивное образование – это совместное обучение детей с ограниченными возможностями и детей, не имеющих таких ограничений». 30% родителей рассматривают инклюзивное образование как реализацию индивидуального подхода к учащимся, еще 30% респондентов описали инклюзивное образование как помощь ученикам.

100% опрошенных не выделили различий между инклюзивным образованием и традиционным, что свидетельствует о смешении понятий и недостаточной сформированности у родителей инклюзивного мышления.

Вместе с тем родителями были выделены условия обеспечения успешного совместного обучения детей с ОПФР и их нормально развивающихся сверстников: организация индивидуального подхода к детям с ОПФР (30%); наличие дополнительных занятий для ребенка с ОПФР с учителем-дефектологом (20%); проведение бесед с учениками инклюзивного класса с целью формирования положительных межличностных отношений (20%); увеличение количества наглядного материала с целью адаптации учебного процесса под образовательные возможности детей с ОПФР (20%). Не указали условия обеспечения успешного совместного обучения детей в рамках инклюзивного образования 10% (рис. 1).

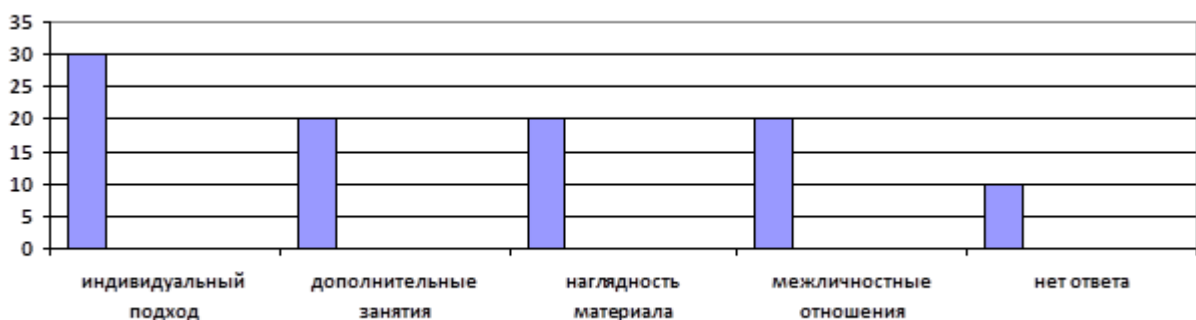


Рис. 1. Условия эффективного инклюзивного обучения (в %)

Таким образом, большинство родителей, воспитывающих детей с ОПФР, указывают на необходимость организации специальной образовательной инклюзивной среды. Однако ни один из респондентов не отметил участие родителей в работе группы психолого-педагогического сопровождения как необходимое условие организации инклюзивной образовательной среды.

Имея опыт инклюзивного обучения собственных детей, родители отмечают положительные моменты совместного обучения учащихся с ОПФР и их нормально развивающихся сверстников: улучшение успеваемости (40%); эффективную социализацию ребенка с ОПФР (40%); реализацию индивидуального подхода (10%). И только 10% ушли от ответа (рис. 2).

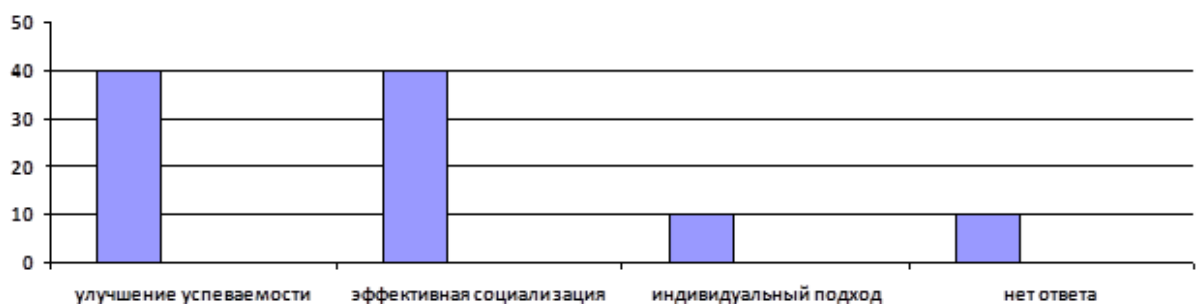


Рис. 2. Положительные стороны инклюзивного обучения (в %)

Среди отрицательных сторон инклюзивного образования было выделено: повышение агрессивности как самих детей с ОПФР, так и их одноклассников (20%); наличие утомляемости детей с ОПФР из-за большого количества информации по сравнению с их обучением в специальных образовательных учреждениях (20%); появление трудностей в общении в классном коллективе (20%); перенос особенностей традиционной системы образования в инклюзивную (10%). Не смогли ответить 30% (рис. 3).

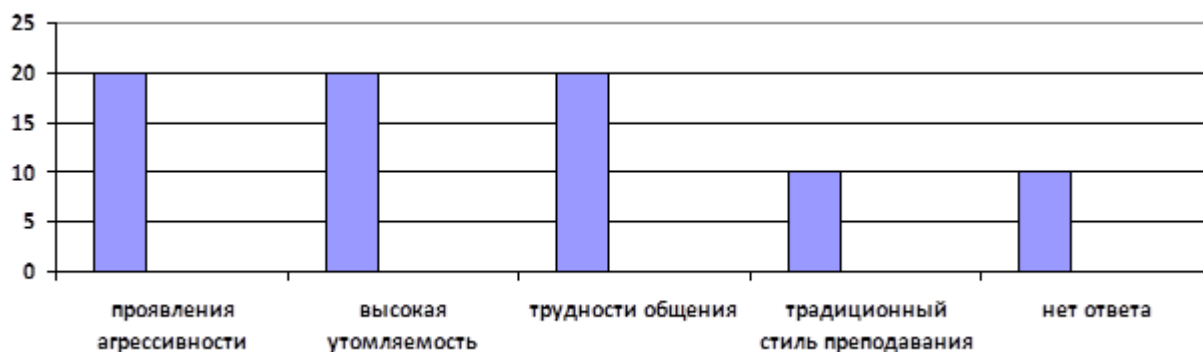


Рис. 3. Отрицательные стороны инклюзивного образования (в %)

Анкетирование выявило потребность родителей в самообразовании. Об этом свидетельствует интерес родителей к темам педагогических лекториев: организация социально-педагогического сопровождения инклюзивного образования (30%); обучение педагогическим приемам по преодолению усталости ребенка, повышению концентрации его внимания (25%); освоение педагогических приемов преодоления учебных затруднений ребенка с ОПФР (25%); получение информации о перспективах развития инклюзивного образования в Республике Беларусь (10%); другое (10%).

Несмотря на выявленную потребность в оказании родителям педагогической помощи и наличие в учреждении образования группы психолого-педагогического сопровождения, 20% респондентов оказались не знакомы с понятием «группа психолого-педагогического сопровождения»; 70% не являются членами группы психолого-педагогического сопровождения ребенка; всего 10% состоит в этой группе.

О высокой потенциальной активности во взаимодействии участников инклюзивной практики говорит тот факт, что 80% анкетированных хотели бы быть членами группы психолого-педагогического сопровождения их ребенка. 20% респондентов указали, что не нуждаются в организации группы психолого-педагогического сопровождения ребенка, что может быть связано как с их личной неготовностью к осуществлению данной деятельности, так и низкой информированностью о сущности работы групп психолого-педагогического сопровождения ребенка в условиях инклюзивного образовательного пространства. Следовательно, присутствует объективная необходимость как информирования родителей, воспитывающих детей с ОПФР, о психолого-педагогическом сопровождении, так и активизации деятельности учреждений образования по включению родителей в работу групп психолого-педагогического сопровождения, в том числе их предварительной подготовке к подобной деятельности.

Анализ ответов родителей показал, что существует потребность в рассмотрении на родительских собраниях следующих проблем: организация дисциплины ребенка (10%); равенство всех детей (20%); обсуждение профориентации детей с ОПФР (20%); вопросы, возникающие непосредственно в процессе обучения (50%).

Как видно, большинство родителей заинтересованы в получении актуальной информации, связанной со спецификой инклюзивного образования, нуждаются в поддержке и профессиональном сопровождении.

Определенные затруднения вызвал у родителей аспект, какие темы / вопросы они хотели бы заслушать на общешкольных родительских собраниях: вопросы дальнейшего обучения и трудоустройства детей с ОПФР (20%); не выделили дополнительных тем, только обязательные (30%); не ответили на вопрос (50%). Ответы показали, что в рамках взаимодействия с педагогическим коллективом

школы родители ориентированы на классных руководителей, а не на администрацию школы. Учет данной информации может способствовать более качественной организации партнерского взаимодействия школы и семьи в условиях инклюзивного образовательного пространства.

Среди форм работы, проводимых классным руководителем, были названы беседы (40%), индивидуальные и поддерживающие занятия с детьми (10%); назвали не формы работы, а особенности индивидуальной педагогической деятельности 20%; не ответили на вопрос 30%. Таким образом, родители – участники инклюзивного образовательного процесса ориентированы на индивидуальные формы взаимодействия с классным руководителем.

Вместе с тем родители указывают на необходимость организации дополнительных встреч со специалистами: дефектолог (60%); учитель-предметник (10%); не ответили на вопрос (30%). Во время беседы со специалистами родителям хотелось бы получить информацию о трудностях речевой коммуникации у 20%; реализации индивидуального подхода к своему ребенку (10%); не возникает вопросов у 20%; не ответили на вопрос 50%.

Нами была проанализирована работа психологов с родителями: с 50% респондентов не проводилась психологическая работа, 20% проходили тестирование и анкетирование, 20% посещали групповые консультации психологов школы, 10% не смогли ответить на вопрос о проведенной психологической работе.

Анализ полученного эмпирического материала позволил сделать вывод, что при организации психолого-педагогического сопровождения родителей, учащихся с ОПФР важен учет выявленных особенностей: слабая информированность родителей о специфике инклюзивного образования; недостаточная сформированность партнерской позиции родителей как участников инклюзивного образовательного процесса; ориентация родителей на индивидуальные формы взаимодействия с педагогами; отсутствие знаний у родителей о цели создания группы психолого-педагогического сопровождения и ее функциях.

По результатам исследования был разработан цикл тренингов для родителей, направленный на совершенствование знаний об инклюзивном образовании, развитие партнерской позиции родителей, формирование инклюзивного мышления и ответственности за образовательный результат.

**Заключение.** В связи с активным развитием и внедрением инклюзивного образования в повседневную жизнь актуальными являются вопросы просвещения родителей. Большую часть информации родители учащихся получают в рамках взаимодействия школы и семьи. Анализ и учет выявленных особенностей данного процесса, внедрение разработанного цикла тренинговых мероприятий для родителей будут способствовать повышению эффективности формирования инклюзивной культуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Змушко, А.М. Критериальные комплексы оценки качества инклюзивного образования: постановка проблемы / А.М. Змушко // Инклюзивные процессы в образовании: материалы междунар. конф., Минск, 27–28 окт. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь; редкол.: А.М. Змушко [и др.]. – Минск: БГПУ, 2016. – С. 360–362.
2. Малофеев, Н.Н. Инклюзивное образование в контексте современной социальной политики / Н.Н. Малофеев // Воспитание и обучение детей с нарушениями развития. – 2009. – № 6. – С. 3–9.
3. Семаго, Н.Я. Инклюзивное образование как первый этап на пути к включающему обществу / Н.Я. Семаго // Психологическая наука и образование. – 2011. – № 1. – С. 51–59.
4. Хитрюк, В.В. Инклюзивное образовательное пространство: SWOT-анализ / В.В. Хитрюк, И.Н. Симаева // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2014. – № 5. – С. 31–39.

#### REFERENCES

1. Zmushko A.M. *Inkluzivniye protsessi v obrazovanii: materialy Mezhdunar. konf., Minsk, 27–28 okt. 2016 g.* [Inclusive Processes in OEducation: Proceedings of the International Conference, Minsk, October 27–28, 2016], Ministry of Education of the Republic of Belarus, Minsk, BSPU, 2016, pp. 360–362.
2. Malofeyev N.N. *Vospitaniye i obucheniyetei s narusheniyami razvitiya* [Education and Training of Children with Developmental Disorders], 2009, 6, pp. 3–9.
3. Semago N.Ya. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovaniye* [Psychological Science and Education], 2011, 1, pp. 51–59.
4. Hitryuk V.V., Simayeva I.N. *Vestnik Baltiiskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta* [Journal of Baltic Federal I. Kant University], 2014, 5, pp. 31–39.

Поступила в редакцию 08.04.2019

Адрес для корреспонденции: e-mail: vit.conf@tut.by – Бумаженко Н.И.

---

## ПРАВИЛЫ ДЛЯ АЎТАРАЎ

1. «Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта» публікуе вынікі навуковых даследаванняў, якія праводзяцца ў Віцебскім дзяржаўным універсітэце, навуковых установах і ВУН рэспублікі, СНД і іншых краін. Асноўным крытэрыем мэтазгоднасці публікацыі з'яўляецца навізна і арыгінальнасць артыкула. Навуковы часопіс уключае ў Пералік навуковых выданняў, рэкамендаваных ВАК Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў па біялагічных, педагагічных, фізіка-матэматычных навуках. Па-за чаргой публікуюцца навуковыя артыкулы аспірантаў апошняга года навучання (уключаючы артыкулы, якія падрыхтаваны імі ў сааўтарстве) пры ўмове іх поўнай адпаведнасці патрабаванням, што прад'яўляюцца да навуковых публікацый выдання.

2. Патрабаванні да афармлення артыкула:

2.1. Рукапісы артыкулаў прадстаўляюцца на беларускай, рускай ці англійскай мове.

2.2. Кожны артыкул павінен утрымліваць наступныя элементы:

- індэкс УДК;
- назва артыкула;
- прозвішча і ініцыялы аўтара (аўтараў);
- арганізацыя, якую ён (яны) прадстаўляе;
- уводзіны;
- раздзел «Матэрыял і метады»;
- раздзел «Вынікі і іх абмеркаванне»;
- заключэнне;
- спіс выкарыстанай літаратуры.

2.3. Назва артыкула павінна адлюстроўваць яго змест, быць па магчымасці лаканічнай, утрымліваць ключавыя словы, што дазволіць індэксаваць артыкул.

2.4. Ва ўводзінах даецца кароткі агляд літаратуры па праблеме, указваюцца не вырашаныя раней пытанні, фармулюецца і абгрунтоўваецца мэта, падаюцца спасылкі на працы іншых аўтараў за апошнія гады, а таксама на замежныя публікацыі.

2.5. Раздзел «Матэрыял і метады» ўключае апісанне метадыкі, тэхнічных сродкаў, аб'ектаў і зместу даследаванняў, праведзеных аўтарам (аўтарамі).

2.6. У раздзеле «Вынікі і іх абмеркаванне» аўтар павінен зрабіць высновы з пункту гледжання іх навуковай навізны і супаставіць з адпаведнымі вядомымі дадзенымі. Гэты раздзел можа дзяліцца на падраздзелы з паясняльнымі падзагалюнкамі.

2.7. У заключэнні ў сціслым выглядзе павінны быць сфармуляваны атрыманыя вынікі, з указаннем на дасягненне пастаўленай мэты, навізну і магчымасці прымянення на практыцы.

2.8. Спіс літаратуры павінен уключаць не больш за 12 спасылак. Спасылкі нумаруюцца адпаведна з парадкам іх цытавання ў тэксце. Парадкавыя нумары спасылак пішучца ў квадратных дужках па схеме: [1], [2]. Спіс літаратуры афармляецца ў адпаведнасці з патрабаваннямі ДАСТ – 7.1-2003. Спасылкі на неапублікаваныя працы, дысертацыі не дапускаюцца. Указваецца поўная назва аўтарскага пасведчання і дэпаніраванага рукапісу, а таксама арганізацыя, якая прад'явіла рукапіс да дэпаніравання.

2.9. Артыкулы падаюцца ў рэдакцыю аб'ёмам не менш за 0,35 аўтарскага аркуша 14000 друкаваных знакаў, з прабеламі паміж словамі, знакамі прыпынку, лічбамі і інш.), надрукаваных праз адзін інтэрвал, шрыфт Times New Roman памерам 11 пт. У гэты аб'ём уваходзяць тэкст, табліцы, спіс літаратуры. Колькасць малюнкаў не павінна перавышаць трох. Малюнкi і схемы павінны падавацца асобнымі файламі ў фармаце jpg. Фатаграфіі ў друк не прымаюцца. Артыкулы павінны быць падрыхтаваны ў рэдактары Word для Windows. Простыя формулы і літарныя абазначэнні велічынь трэба ўстаўляць, выкарыстоўваючы Symbol (напрыклад,  $\infty$ ,  $A_1$ ,  $\beta^k$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ). Складаныя формулы набіраюцца тым жа шрыфтам і памерам, што і асноўны тэкст, пры дапамозе рэдактара формул Equation.

2.10. У дадатак да папяровай версіі артыкула ў рэдакцыю здаецца электронная версія матэрыялаў. Электронная і папяровая версіі артыкула павінны быць ідэнтычнымі. Адрас электроннай пошты ўніверсітэта (nauka@vsu.by).

3. Да артыкула дадаюцца наступныя матэрыялы (на асобных лістах):

- рэферат (100–250 слоў), які павінен дакладна перадаваць змест артыкула і быць прыдатным для апублікавання ў анатацыях да часопісаў асобна ад артыкула, і ключавыя словы на мове арыгінала. Ён павінен мець наступную структуру: уводзіны, мэта, матэрыял і метады, вынікі і іх абмеркаванне, заключэнне;
- назва артыкула, прозвішча, імя, імя па бацьку аўтара (поўнаасцю), месца яго працы, рэферат, ключавыя словы і спіс літаратуры на англійскай мове;
- нумар тэлефона, адрас электроннай пошты аўтара;
- рэкамендацыя кафедры (навуковай лабараторыі) да друку;
- экспертнае заключэнне аб магчымасці апублікавання матэрыялаў у друку;

4. Артыкулы, якія дасылаюцца ў рэдакцыю часопіса, падлягаюць абавязковай праверцы на арыгінальнасць і карэктнасць запазычанняў сістэмай «Антыплагіят.ВУН». Для арыгінальных навуковых артыкулаў ступень арыгінальнасці павінна быць не менш за 85%, для аглядаў – не менш за 75%.

5. Па рашэнні рэдкалегіі артыкул накіроўваецца на рэцэнзію, затым візіруецца членам рэдкалегіі. Вяртанне артыкула аўтару на дапрацоўку не азначае, што ён прыняты да друку. Перапрацаваны варыянт артыкула зноў разглядаецца рэдкалегіяй. Датай паступлення лічыцца дзень атрымання рэдакцыйнай канчатковага варыянта артыкула.

6. Накіраванне ў рэдакцыю раней апублікаваных або прынятых да друку ў іншых выданнях работ не дапускаецца.

7. Адказнасць за прыведзеныя ў матэрыялах факты, змест і дакладнасць інфармацыі нясуць аўтары.

---

## GUIDELINES FOR AUTHORS

1. «Vesnik of Vitebsk State University» publishes results of scientific research conducted at Vitebsk State University as well as at scientific institutions and universities, CIS and other countries. The main criterion for the publication is novelty and specificity of the article. The scientific journal is included into the List of scientific publications recommended by Supreme Qualification Commission (VAK) of the Republic of Belarus for publishing the results of dissertation research in biological, pedagogical, physical and mathematical sciences. The priority for publication is given to scientific articles by postgraduates in their last year (including their articles written with co-authors) on condition these articles correspond the requirements for scientific articles of the journal.

2. Guidelines for the layout of a publication:

2.1. Articles are to be in Belarusian, Russian or English.

2.2. Each article is to include the following elements:

- UDK index;
- title of the article;
- name and initial of the author (authors);
- institution he (she) represents;
- introduction;
- «Material and methods» section;
- «Findings and their discussion» section;
- conclusion;
- list of applied literature.

2.3. *The title* of the article should reflect its contents, be laconic and contain key words which will make it possible to classify the article.

2.4. *The introduction* should contain a brief review of the literature on the problem. It should indicate not yet solved problems. It should formulate the aim; give references to the recent articles of other authors including foreign publications.

2.5. «*Material and methods*» section» includes the description of the method, technical aids, objects and contents of the author's (authors') research.

2.6. In «*Findings and their discussion*» section the author should draw conclusions from the point of view of their scientific novelty and compare them with the corresponding well-known data. This section can be divided into sub-sections with explanatory subtitles.

2.7. *The conclusion* should contain a brief review of the findings, indicating the achievement of this goal, their novelty and possibility of practical application.

2.8. The list of literature shouldn't include more than 12 references. The references are to be numerated in the order of their citation in the text. The order number of a reference is given in square brackets e.g. [1], [2]. The layout of the literature list layout is to correspond State Standard (GOST) – 7.1-2003. References to articles and theses which were not published earlier are not permitted. A complete name of the author's certificate and the deposited copy is indicated as well as the institution which presented the copy for depositing.

2.9. Two copies of articles of at least 0,35 of an author sheet size (14000 printing symbols with blanks, punctuation marks, numbers etc.), interval 1, Times New Roman 11 pt are sent to the editorial office. This size includes the text, charts and list of literature. Not more than three pictures are allowed. Pictures and schemes are to be presented in individual *jpg* files. Photos are not allowed. Articles should be typed in Word for Windows. Simple formulas and alphabetical symbols of dimensions should be put by using Symbol (e.g.  $\infty$ ,  $A_1$ ,  $\beta^k$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ). Complicated formulas are typed by the same point and size as the basic text with the help of formula's editor Equation.

2.10. The electronic version should be attached to the paper copy of the article submitted to the editorial board. The electronic and the paper copies of the article should be identical. The university e-mail address is nauka@vsu.by).

3. Following materials (on separate sheets) are attached to the article:

- summary (100–250 words), which should precisely present the contents of the article, should be liable for being published in magazine summaries separately from the article as well as the key words in the language of the original. The structure of the summary is the following: introduction, objective, material and methods, findings and their discussion, conclusion;
- title of the article, surname, first and second names of the author (without being shortened), place of work, summary, key words and the list of literature should be in English;
- author's telephone number, e-mail address;
- recommendation of the department (scientific laboratory) to publish the article;
- expert conclusion on the feasibility of the publication;

4. All articles submitted to the editorial office of the journal are subject to mandatory verification of originality and correctness of borrowings by the Antiplagiat.VUZ system. For original scientific articles the degree of originality should be at least 85%, for reviews - at least 75%.

5. On the decision of the editorial board the article is sent for a review, and then it is signed by the members of the editorial board. If the article is sent back to the author for improvement it doesn't mean that it has been accepted for publication. The improved variant of the article is reconsidered by the editorial board. The article is considered to be accepted on the day when the editorial office receives the final variant.

6. Earlier published articles as well as articles accepted for publication in other editions are not admitted.

7. The authors carry responsibility for the facts provided in the articles, the content and the accuracy of the information.



---

---

Выдавец і паліграфічнае выкананне – установа адукацыі  
«Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П.М. Машэрава».

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі ў якасці выдаўца,  
вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў  
№ 1/255 ад 31.03.2014 г.

Надрукавана на рызографе ўстановы адукацыі  
«Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П.М. Машэрава».  
210038, г. Віцебск, Маскоўскі праспект, 33.

Пры перадрукаванні матэрыялаў спасылка  
на «Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта» з’яўляецца абавязковай.

---